



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i  
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# TREBALL FINAL DE CARRERA

**TÍTOL DEL TFC:** Disseny i implementació d'una maqueta industrial de regulació i control en xarxa

**TITULACIÓ:** Enginyeria de Telecomunicació (segon cicle)

**AUTORA:** Antonia Rodríguez Ballesta

**DIRECTOR:** Rafael Vidal Ferré i Marcos Quílez Figuerola

**DATA:** 20 de febrer del 2017



**Títol del PFC:** Disseny i implementació d'una maqueta industrial de regulació i control en xarxa

**Titulació:** Enginyeria de Telecomunicació (segon cicle)

**Autora:** Antonia Rodríguez Ballesta

**Directors:** Rafael Vidal Ferré i Marcos Quílez Figuerola

**Data:** 20 de febrer de 2017

## **Resum**

Aquest projecte té com a finalitat generar material didàctic per a cicles formatius de grau superior d'automatització industrial. El punt de partida són els equips disponibles al centre de cicles formatius .

A partir de les possibilitats d'aquests equips, i després d'examinar les tendències de mercat en l'àmbit de les comunicacions industrials, es busca dissenyar i implementar una maqueta que permeti mostrar el funcionament d'una planta industrial en xarxa. Per exemple la comunicació entre els controladors i els dispositius a controlar o la monitorització remota amb SCADA o web.

Després de veure les possibilitats dels equips i de les tendències del mercat, es dissenya i s'implementa una maqueta de regulació i control en planta industrial, on es controla en nivell i el cabal com a exemple d'aplicació.

Es dissenya i s'implementa la maqueta a nivell d'oficina tècnica, fent una planificació de les fases d'implementació i un pressupost dels materials i de la mà d'obra, per al seu posterior muntatge amb recursos humans del propi centre.

Es fan unes pràctiques de configuració i programació del diferents elements de la maqueta. Aquestes pràctiques inclouen les configuracions bàsiques de les comunicacions entre la pantalla i el PC de supervisió. Mes tard, es fa èmfasi en les comunicacions d'una xarxa industrial, fent una sèrie de practiques relacionades amb aquest objectiu. Primer es fan unes pràctiques per comprovar el funcionament del protocols de comunicació que s'utilitzen a la maqueta. Després, es fa una pràctica que simuli una xarxa externa per al control remot amb un PC amb SCADA. Posteriorment, es fa una altra, per tenir accés al servidor web de l'autòmat des d'un PC extern per poder monitoritzar les dades de la maqueta de forma senzilla o a través d'una pantalla de visualització publicada a la seva web. També, es fa una pràctica per poder aplicar la tecnologia OPC (client-servidor) per a interconnexió d'elements que no tenen connexió directa.

Finalment, després dels resultats de les pràctiques, les possibilitats de la maqueta i dels autòmats emprats en aquesta, es descriuen les línies futures d'actuació i ampliació de la maqueta.

**Title:** Design and implementation of an industrial model of regulation and control in networking

**Author:** Antonia Rodríguez Ballesta

**Directors:** Rafael Vidal Ferré i Marcos Quilez Figuerola

**Date:** February 20 rd 2017

## Overview

This project has as purpose generate didactic material for Higher Level Training Cycle (CFGS) of industrial automation.

The point of item, they are the equipments that are available in the center of Formative Cycles.

On the basis of the possibilities of these equipments, and after examining the trends of market in the area of the industrial communications, one seeks to design and to implement a model that allows to show the functioning of an industrial plant in networking. For example the communication between the controllers and the devices to controlling or the remote monitoring with SCADA or web.

After seeing the possibilities of the equipments and of the trends of the market, it is designed and there is implemented a model of regulation and control in industrial plant, where it is controlled in level and the flow as example of application.

The model is designed and is implemented to level of technical office, doing a planning of the phases of implementation and a budget of the materials and of the workforce, for it later assembly. It is done with human resources of the own center.

There are done a few practices of configuration and programming of the different elements of the Model. These practices include the basic configurations of the communications between the screen and the PC of supervision. Afterwards, emphasis is done in the communications of an industrial network, doing a series of practices related to this aim. First a few practices are done to verify the functioning of the protocols of communication that are in use in the model. Then, there is done a practice that simulates an external network for the remote control with a PC with SCADA. Later, another is done to access the PLC's web server from an external PC in order to monitor the data of the model in a simple way or through a display screen published on its website. Also, a practice is done to be able to apply the technology OPC (client-server) for interconnection of elements that don't have direct connection.

Finally, after the results of the practices, the possibilities of the model and the automations used, there are described the future lines of action and extension of the model.

# ÍNDEX

<b>INTRODUCCIÓ .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTOL 1. TENDÈNCIES DE MERCAT .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Indústria 4.0 o 4a revolució industrial .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Comunicacions Industrials i la Internet .....</b>	<b>5</b>
1.2.1 Diferències entre l'Ethernet i l'Ethernet industrial .....	6
1.2.2 Protocols d'Ethernet industrial .....	8
<b>CAPÍTOL 2. DISSENY DE LA MAQUETA .....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. Fonaments de xarxes i control industrials .....</b>	<b>10</b>
2.1.1 Modbus TCP/IP .....	10
2.1.2 CANopen .....	16
2.1.3 OPC .....	23
2.1.4 Control PID .....	28
<b>2.2. Requeriments .....</b>	<b>31</b>
<b>2.3. Definició de les fases del disseny i implementació .....</b>	<b>33</b>
<b>CAPÍTOL 3. IMPLEMENTACIÓ DE LA MAQUETA .....</b>	<b>36</b>
<b>3.1 Planificació .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2 Pressupost .....</b>	<b>36</b>
<b>3.3 Programació de la maqueta .....</b>	<b>38</b>
3.3.1 Configuració de la maqueta .....	38
3.3.2 Comunicacions de la maqueta .....	40
<b>CAPÍTOL 4. RESULTATS .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Activitats pràctiques per a la configuració i programació .....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Activitats pràctiques de comunicacions .....</b>	<b>43</b>
4.2.1 Activitats pràctiques de comunicacions amb el PLC M-340 .....	44
4.2.2 Activitats pràctiques de comunicacions amb el PLC M-241 .....	45
<b>CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS .....</b>	<b>48</b>
<b>Futures ampliacions .....</b>	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>51</b>





## INTRODUCCIÓ

En el segle XXI el sector industrial, inicia una quarta revolució: la Indústria 4.0. En poques paraules, podríem dir que la Indústria 4.0 és la digitalització de la indústria. Això deriva, de la digitalització global que s'està produint sobretot amb el desenvolupament de la Internet de les coses (IoT, Internet of Things), la robòtica, la impressió 3D, la intel·ligència artificial, els drons o la realitat augmentada.

Davant aquesta situació, es planteja la necessitat de professionals acreditats i amb coneixements en aquesta nova fase. Des dels centres educatius, s'ha de fer una adaptació constant, per una formació d'acord a les necessitats que té el sector productiu de la família professional que s'imparteix en el centre. També, de la transmissió d'unes competències clau i valors cap a l'alumnat qui seran els futurs professionals. I per un altre costat, des del sector educatiu, també estan alerta a les noves tecnologies i transmeten als instituts les seves inquietuds al respecte. De fet, la Fundació FP Barcelona, una entitat que té un projecte compartit entre el sector productiu i la formació professional de la ciutat de Barcelona, ha fet un estudi de la Indústria 4.0, on es recull l'impacte d'aquesta revolució industrial [1].

D'altra banda, el material industrial i, sobretot els entrenadors que ofereixen les empreses com Festo (integra pneumàtica, automatització i robòtica a les seves maquetes de diferents marques), Siemens (automatització), Schneider (automatització i electricitat), entre d'altres, són cars. Això és un problema per als instituts de formació professional, ja que cada vegada disposen de menys pressupost.

Un altre problema és que aquests entrenadors venen definits per l'empresa que els subministra i a vegades no es corresponen amb el que es vol implementar, i n'has de comprar diferents entrenadors per anar cobrint objectius.

Per això, amb aquest projecte es pretén dissenyar i implementar, a nivell d'enginyeria, una maqueta industrial de regulació i control en xarxa per tal de poder fer assajos de configuració, comunicació i regulació industrial d'una planta industrial, a preus raonables i amb una tecnologia, que pertany a l'institut. A més, es pot dissenyar a la carta i amb previsió de possibles ampliacions o modificacions posteriors que ja preveiem o que poden sorgir, canviant l'entorn amb pocs recursos.

Per dissenyar i implementar la maqueta, s'ha fet un anàlisi del que ha de ser la maqueta de regulació i control industrial, a partir de les tendències de mercat de la Indústria 4.0 i el material disponible a l'institut.

Aquest projecte serà el previ per al posterior muntatge i posada en marxa de la maqueta per unes altres persones del centre.

## Objectius

Es busca dissenyar i implementar una maqueta de regulació i control que simuli un procés industrial en xarxa que segueixi el model de la Indústria 4.0, amb el material disponible a l'Institut, en aquest cas de l'empresa Schneider.

Es vol fer un projecte a nivell d'oficina tècnica, tenint en compte tots els aspectes de disseny i de les seves fases d'implementació i execució per a un posterior muntatge i posada en marxa, per altres persones. Per a la planificació es farà un projecte GANTT de les fases i un pressupost orientatiu de material i mà d'obra corresponent.

Després de l'anàlisi inicial de les necessitats que té un equipament didàctic per la Indústria 4.0, la maqueta ha de contenir els diferents elements per a la regulació i controls típic dels busos de camp industrial, com són els sensors digitals i analògics, el PLC i la comunicació via CANopen amb el variador. També la comunicació entre els controladors i els dispositius, com són la comunicació entre el PC i la pantalla d'operador HMI que es troba a peu de màquina a la línia, i l'SCADA per la supervisió del procés, des del PC amb Ethernet industrial o amb altres comunicacions industrials. També, com la tendència és que estigui tot connectat amb Ethernet o Ethernet industrial, es pot tenir el control i/o la monitorització remota amb un PC que tingui un SCADA o connectar-se al web del PLC.

Si tot està connectat es té més informació d'anàlisi dels elements ja que l'Ethernet industrial pot proporcionar informació en temps real.

Per tal de fer servir els elements anteriorment esmentat, es planteja una maqueta que controli l'emplenament i buidat d'un dipòsit a través dels sensors de nivell i cabal, i del motor amb el variador. La supervisió es fa des del PC amb els diferents programes: el propi PLC quant està en connexió en línia amb la maqueta, i l'SCADA a través del seu sinòptic de funcionament.

A més a més, s'elaboraran unes pràctiques de configuració i comunicacions basades en la maqueta (veure Annex I, II, III)

Aquest projecte inclou el disseny de totes les fases de la maqueta, encara que les fases de muntatge i posada en marxa no s'executaran. Es busca fer un projecte a nivell d'oficina tècnica.

La memòria s'estructura de la següent manera. Després d'aquesta introducció, el **capítol 1**, presenta l'estudi de les tendències del mercat i els protocols de comunicacions de la Indústria 4.0. Al **capítol 2**, s'expliquen les bases teòriques de les tecnologies i protocols de comunicacions emprats, i es descriuen els requeriments i disseny de la maqueta, des de la base l'estructura metàl·lica, el quadre elèctric i la distribució dels sensors, la pantalla HMI, entre d'altres. Al **capítol 3**, es presenta la implementació de les fases d'execució de la maqueta i els materials utilitzats. Al **capítol 4** es presenten els resultats de les activitats pràctiques que es podrien realitzar i amb quins equips i tecnologies. Finalment,

el **capítol 4** descriu les conclusions finals del projecte, així com les possibles futures línies de treball.

## CAPÍTOL 1. TENDÈNCIES DE MERCAT

### 1.1. Indústria 4.0 o 4a revolució industrial

El concepte d'Indústria 4.0, neix a Alemanya, i descriu el concepte de la digitalització del sector industrial. Així, podem definir-la com l'organització dels processos de producció basats en la tecnologia i en dispositius que es comuniquen entre ells de forma autònoma al llarg de tota la cadena de valor.

La revolució hi és en el moment, en que aquest concepte, impregna a totes les àrees. Des del disseny, la producció, la comercialització, la logística, entre d'altres.

La Internet de les Coses, la robòtica, la impressió 3D, la intel·ligència artificial, els drons, la realitat augmentada, en definitiva la digitalització, esta revolucionant la nostra forma de viure i de relacionar-nos entre nosaltres i amb el nostre entorn. La indústria no pot quedar-se fora d'aquests canvis i ha d'apostar per aquestes eines per poder avançar.

Les noves tecnologies s'han convertit en el facilitador que permet a les empreses industrials sobreviure en un entorn cada vegada més exigent. D'una banda, les empreses productives requereixen processos més flexibles i ràpids per fer front a la demanda de productes personalitzats, sense disparar els costos de fabricació. A més han d'agilitar processos per escurçar el temps que transcorre des de que ideen un producte fins que aquest arriba al mercat.

Amb els simuladors ara es poden fer dissenys d'una planta sencera d'una cadena de producció, cosa que abans només es podien fer dissenys de prototips. Des de que a l'empresa s'ha començar a aplicar la impressió 3D, el que en diuen la manufactura additiva, cada vegada es faran servir més els simuladors per fer prototips i imprimir-los en impressores 3D industrials o fàbriques 3D per fer uns primers prototips i després produir en cadena. En el futur, polígons industrials podien esdevenir pous de replicació genèrics com si fossin una impressora 3D gegant.

Els avantatges que suposa per a la indústria el fet que la cadena de producció i cada producte fabricat puguin estar connectats a Internet, és que es subministren dades en temps real que poden analitzar-se per retroalimentar la cadena. Per exemple, amb els històrics de l'SCADA es poden fer càlculs, estadístiques, entre d'altres, per fer millores al procés.

Aspectes com per exemple, el manteniment predictiu, poden millorar amb la implantació de sensors en una planta de producció permetent monitoritzar el funcionament de les màquines i rebre alertes per anticipar una possible fallada abans que aquesta es produeixi, evitant així un impacte en la cadena. Aquestes dades es poden recollir a través d'un SCADA o web.

Les aplicacions pràctiques que es fan en la indústria del nostre país són múltiples. Començant pel procés de disseny, en el qual la col·laboració

potencia la innovació, passant per la fabricació, la logística i la distribució al client. La tecnologia és capaç d'estalviar costos, gestionar temps de resposta més curts i adaptar-se a la hiperconnectivitat i hiperpersonalització que requereixen els clients actuals. Així, esdevé important la transversalitat horitzontal i vertical: fabricants, proveïdors i clients que estan entrellaçats pels sistemes informàtics. Tot això provocarà canvis en la producció i la demanda de nous productes (ex. tèxtil intel·ligent) i nous models de negoci (ex. cotxe compartit)

Altres conceptes d'interconnexió sorgeix amb el que s'anomena, els sistemes ciberfísics. Aquest, és important a la Indústria 4.0. Les noves tecnologies digitals uneixen el món físic (dispositius, maquinaria, productes, etc) amb el món digital (sistemes) i possibiliten la interconnexió entre ells per crear una indústria intel·ligent i descentralitzada.

Un aspecte a tenir molt en compte és la ciberseguretat. Amb tots aquests sistemes tan integrats es torna molt important, no només per prevenir ciberatacs sinó també per protegir les dades personals, la propietat intel·lectual, la propietat industrial, etcètera. També serà clau si s'apliquen les tecnologies del núvol per a intercanvi de dades a l'empresa. En aquesta línia, s'està parlant del concepte Big Data and Analytics, que es refereix a l'anàlisi del gran volum de dades que s'han de processar de sistemes i equips de producció, sistemes de gestió de proveïdors, etcètera tot això en temps real.

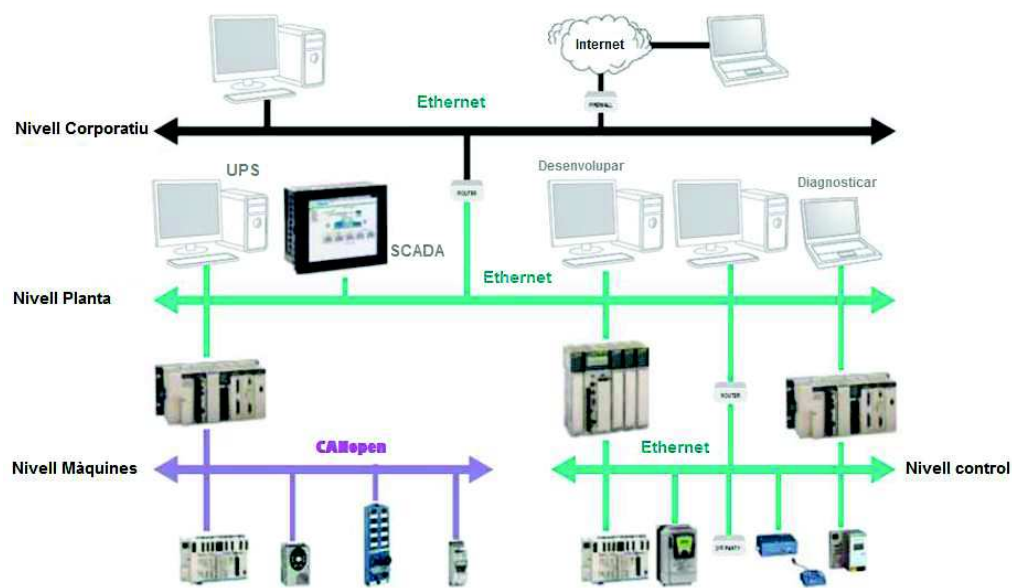
Les comunicacions i Internet (i les tecnologies que se'n deriven) són fonamentals per desenvolupar la Indústria 4.0

## **1.2. Comunicacions Industrials i la Internet**

Sens dubte, l'Ethernet s'ha transformat en l'estàndard de la connectivitat per a ambients corporatius i domèstics per la seva alta velocitat, baix cost, facilitat d'instal·lació i manteniment, entre d'altres factors.

A la indústria, l'evolució de les comunicacions industrials tendeix a la hiperconnectivitat. Aquest és el motiu pel que la Internet, i en aquest cas el protocol Ethernet, esdevé tan important. L'objectiu inherent en una globalització d'aquest tipus és un protocol de comunicació comú i/o 'estàndard'. Les empreses que volen comunicar els seus dispositius generen protocols basats en Ethernet. Així Ethernet es converteix en l'estàndard de facto per aquestes noves comunicacions. Aquests protocols industrials basats en Ethernet són el que es coneixen com protocols Ethernet industrial.

El concepte de Ethernet Industrial, va a començar a popularitzar-se fa uns anys. Aquest concepte engloba l'ús de la tecnologia Ethernet per a aplicacions de control i automatització en un ambient industrial. No obstant això, l'usuari ha de preocupar-se per algunes prestacions d'aquest protocol per al seu ús funcioni en el pis de planta ja que el protocol Ethernet genèric és diferent a l'industrial.



**Fig. 1.1** Exemple d'una xarxa d'una planta industrial amb productes Schneider

### 1.2.1 Diferències entre l'Ethernet i l'Ethernet industrial

Ethernet industrial se centra a l'entorn de producció i requereix normes més estrictes que la Ethernet genèrica, ja que els entorns de fàbrica estan a prop de grans EMI (Interferències ElectroMagnètiques) com a motors, i altres condicions extremes com són la humitat, les baixes o altes temperatures, contaminants químic, etcetera. La majoria de dispositius d'Ethernet no estan preparats per suportar aquestes condicions, perquè han estat dissenyats per a entorns d'oficina.

Mentre que alguns pocs sistemes industrials poden empaquetar dades en paquets estandar Ethernet per prendre avantatge del Ethernet comercial, la majoria de solucions industrials requereix de programari especialitzat en la capa OSI 3 i superiors, així com modificacions de maquinari del MAC (Media Acces Control) per donar suport als múltiples estàndards de busos de camp, Ethernet industrial i els requeriments de treball en temps real.

Les aplicacions de xarxes industrials requereixen un alt nivell de determinisme per assegurar que les dades es transfereixen de manera fiable i consistent. Sense tal transferència determinística de dades, el processament o manufactura de productes de qualitat no és possible. Els enginyers de control i els enginyers de qualitat depenen d'un intercanvi de dades precís i en temps real entre els sistemes de control i els sistemes d'informació. Encara que s'han fet esforços per aplicar Ethernet comercial sense modificacions a les plantes industrials, la naturalesa inherent no determinística d'aquest, i els connectors

no robustos, no ofereixen el nivell requerit de velocitat de transmissió de dades fiables necessaris per als sistemes de manufactura actuals.

Un element clau de preocupació és el rendiment d'extrem a extrem. Per això, el determinisme, és a dir, la capacitat de garantir que un paquet és enviat i rebut en un determinat període de temps, és un important objectiu per al disseny de les xarxes industrials.

El grup de treball de l'estàndard TSN (Time-Sensitive Networking) del grup 802.1 del IEEE [2], en un futur no gaire llunyà podria resoldre aquest problema. Les proves de rendiment de xarxes commutades i enrutades han demostrat que és possible proporcionar comunicació en temps real en el domini de la xarxa, utilitzant la qualitat de servei. El determinisme per a la informació de control crític és guardat a través de l'ús de la capa 2 VLANs per IEEE802.1p/1Q i TOS/DiffServ per a la capa 3. S'ha de tenir en compte que l'Ethernet convencional encara amb aquestes modificacions no seria apta per temps real i/o determinista, com a mínim pels requeriments de control industrial.

L'Ethernet és, pel seu disseny original, no determinista, té una topologia en bus (física i/o lògica), full duplex, el dispositiu de menor velocitat determina la de tot el bus i els dispositius connectats al bus "veuen" les col·lisions de tota la xarxa. Aquest Ethernet permet que succeeixin les col·lisions de dades, les detecta i després facilita la retransmissió, és per això que no es pot garantir determinisme sense l'ús de maquinari addicional (Switches Ethernet), la qual cosa complica el disseny de la xarxa.

Les xarxes Ethernet Industrial han de ser altament fiables i seguir en funcionament durant dures condicions ambientals, interrupcions accidentals de xarxa i falles dels equips. La caiguda d'una xarxa pot ser perillosa i cara.

La confiabilitat de la xarxa és en gran manera aconseguida per l'ús de redundància per a tots els enllaços crítics. Hi ha quatre esquemes de redundància populars per Ethernet: Spanning Tree Protocol (STP), Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP), Link Aggregation (Trunking) i topologia d'anells propietària.

Per a l'Ethernet industrial, es important la prioritat de Missatge. Aquest, permet donar prioritat a les dades provinents de determinat dispositiu pel que fa a altres connectats a la xarxa, accelerant la transferència. Amb aquesta funcionalitat s'impedeix que les trames d'alta prioritat es vegin interrompudes pel tràfic dels de menor prioritat. També, el switch pot processar i enviar tots els paquets de major prioritat abans de fer-ho amb els de menor prioritat o alternar entre uns o uns altres.

Una altra característica és la recuperació ràpida. Amb el Watch-dog i acte-recuperació es poden prevenir interrupcions aleatòries del servei. Així, amb la reconfiguració dinàmica de les taules de enrutament es pot assegurar la comunicació de dispositius que puguin canviar d'ubicació física, reduint el temps sense comunicació.

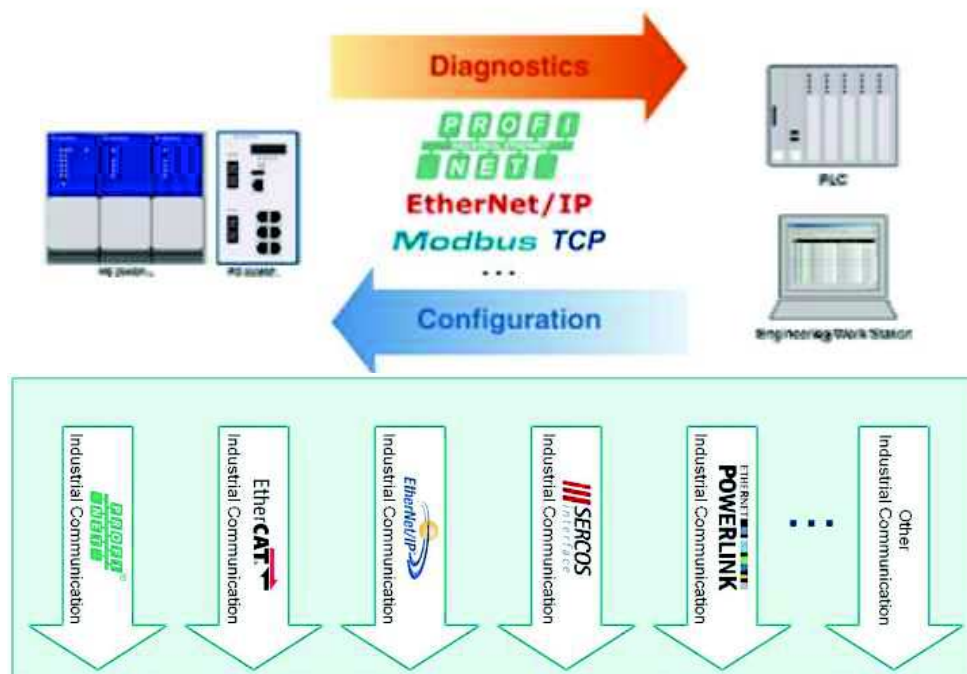


### 1.2.2 Protocols d'Ethernet industrial

Els protocols de l'Ethernet industrial són: PROFINET, EtherNet/IP, Modbus/TCP, EtherCat, Sercos-III, i Power\_Link.

El propòsit és simplificar la interconnexió per als dispositius d'automatització amb el mateix mètode per assignar adreces IP i recollir dades directament des del switch. Això, es tradueix com part del programari de l'aplicació del switch.

Així, creixen les possibilitats que hi ha amb els protocols d'Ethernet industrial perquè són els mateixos switches però amb diferent programari. També, hi ha la possibilitat de càrrega a posteriori d'estàndards o perfils, de canvi d'un protocol a un altre, i també, es fa possible amb equips OpenRail Compactes i modulars.



**Fig. 1.2** Protocols d'Ethernet industrial

A la següent taula, sobre la velocitat entre els protocols d'Ethernet industrial es pot veure que l'EtherCAT és el més ràpid.



**Taula 1.1.** Comparativa de velocitat entre els protocols d'Ethernet industrial

<b>Organització</b>	<b>Response time</b> (for 100 axles)	<b>Jitter</b>	<b>Data rate</b>
<b>Ethernet/IP</b> CIPSync ODVA	1ms	<1ms	100Mbit/s
<b>Ethernet Powerlink</b> EPSS	<1ms	<1ms	100Mbit/s
<b>Modbus TCP</b>	<1ms	<1ms	100Mbit/s
<b>Profinet-IRT</b> PNO	<1ms	<1ms	100Mbit/s
<b>Sercos-III</b> IGS	<0.5ms	<0.1ms	100Mbit/s
<b>EtherCAT</b> ETG	0.1ms	<0.1ms	100Mbit/s

Com a la maqueta es farà servir el material del fabricant Schneider, el protocols que s'utilitzaran seran ModBus TCP/IP, com a Ethernet Industrial i CANopen com a bus de camp. Per ampliar la informació, veure Capítol 2.

## CAPÍTOL 2. DISSENY DE LA MAQUETA

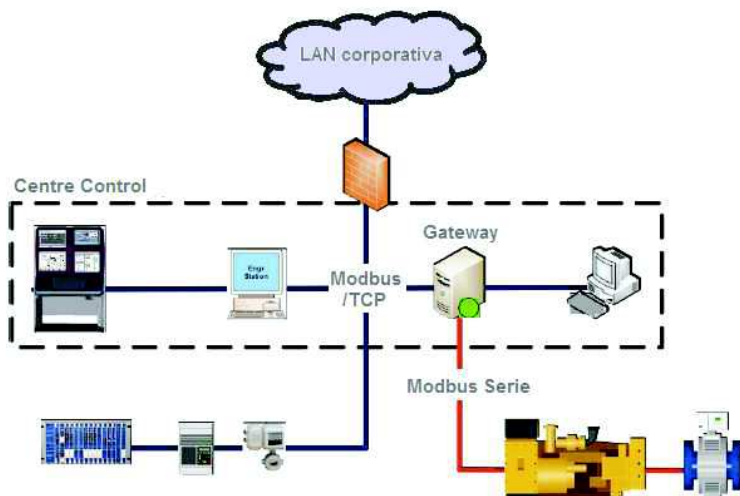
### 2.1. Fonaments de xarxes i control industrials

#### 2.1.1 Modbus TCP/IP

Des de 1979, Modbus [4] a estat l'estàndard de la indústria dels protocols de connexió sèrie. Milions de dispositius d'automatització utilitzen Modbus en les comunicacions.

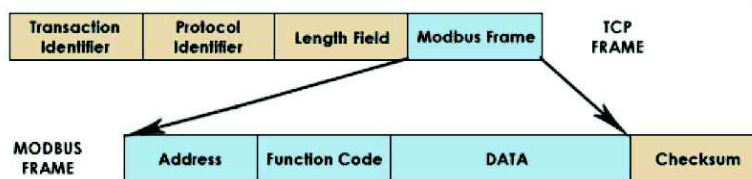
El Modbus sèrie, el Modbus RTU i Modbus ASCII [4], anterior al Modbus TCP/IP és un protocol de comunicació molt difós a nivell industrial, a causa de la seva senzillesa és ideal per a la fàcil comunicació de dispositius de camp via RS-485 (motors, analitzadors de xarxes, vàlvules, guardamotors, HMI, centraletes, entre d'altres).

L'especificació oberta de Modbus/TCP es publica en 1999. Aquest protocol utilitza en TCP a nivell de transport, IP a nivell de xarxa i Ethernet per a les capes inferiors.



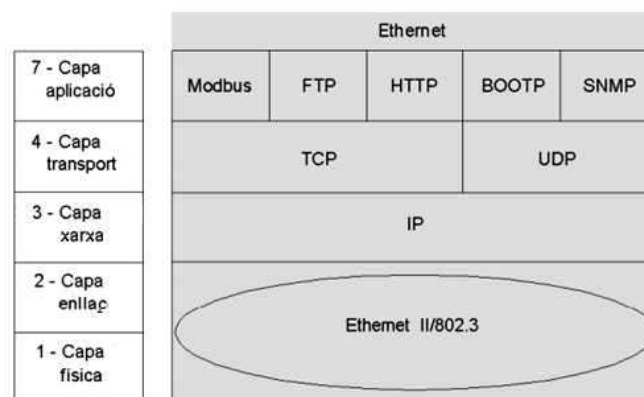
**Fig. 2.1** Exemple de configuració d'una xarxa amb Modbus

Les diferències entre el protocol anterior a l'Ethernet, Modbus sèrie, i protocol d'Ethernet industrial, Modbus/TCP són que la trama Modbus TCP no deixa de ser a grans trets una trama amb el format de Modbus/RTU però encapsulada dins d'una trama TCP/IP. Per tant, en Modbus TCP no s'envien trames en ASCII, sempre s'envien en binari RTU. També, la revisió de l'error s'encarrega de fer-la la capa TCP/IP, i per tant no s'avalua ni CRC i tampoc el bit de paritat.



**Fig. 2.2** Trama Modbus encapsulada en TCP/IP

Per comunicar dispositius Modbus existents sobre Modbus TCP/IP es requereix una passarel·la que converteixi el protocol Modbus a Modbus TCP/IP.



**Fig. 2.3** Arquitectura OSI amb Modbus

### *Missatges de Modbus TCP i port TCP 502*

En Ethernet, el port TCP 502 està reservat per Modbus. Per tant, els missatges Modbus es poden usar per intercanviar dades d'automatització en TCP/IP Ethernet i Internet, i també per a la resta d'aplicacions (intercanvi d'arxius, pàgines web, correu electrònic, etc.). La senzilla estructura de Modbus permet descarregar les especificacions i el codi font de molts dispositius que usen el protocol TCP/IP de Modbus.

Les rutes d'accés de missatges del port 502 poden ser dos. La ruta d'accés del servidor i la del client:

- ruta d'accés del servidor:
  - Els missatges del port 502 poden processar fins a 8 peticions d'entrada de la xarxa. Les peticions es reben durant l'exploració anterior i s'envien al servidor Modbus en la secció IN.

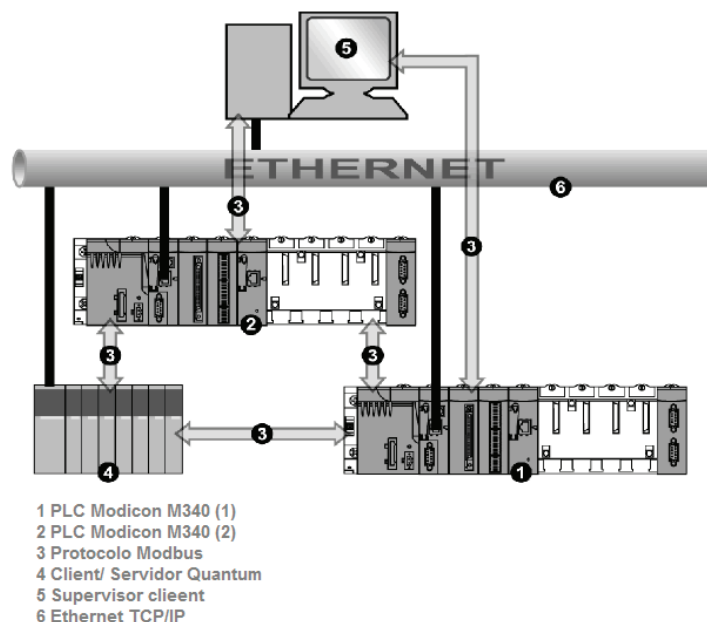
- Els missatges del port 502 poden processar fins a 8 respostes des del servidor Modbus en la secció IN (inclosa l'escriptura de les dades en el connector).
- ruta d'accés del client:
  - Els missatges del port 502 poden processar fins a 16 sol·licituds de sortida des de l'aplicació en la secció OUT (inclosa l'escriptura de les dades en el connector).
  - Els missatges del port 502 poden processar fins a 16 respostes d'entrada des de la xarxa en la secció IN. Les respostes s'envien a l'aplicació.

### Comunicacions Modbus TCP

Aquest servei permet la comunicació a través del protocol Modbus entre un PLC Modicon M340 i:

- un PLC Quàntum
- un PLC Premium
- un PC amb programari de supervisor
- altre dispositiu que compleixi amb el protocol Modbus

En la següent figura es mostren les comunicacions Modbus sobre connexions TCP/IP obertes:



**Fig. 2.4** Comunicacions Modbus sobre connexions TCP/IP

El mateix mòdul pot comunicar-se amb un dispositiu remot en la modalitat de client (per exemple, un PLC Quàntum) i un altre dispositiu remot en la modalitat de servidor (per exemple, un PC supervisor).

En la figura anterior, el PLC (1) Modicon M340 és el client del PLC Quàntum. Obre la connexió TCP/IP i envia missatges Modbus al Quàntum. El PLC Modicon M340 (2) és el servidor per al supervisor. El supervisor ha obert una connexió TCP/IP per enviar missatges Modbus al PLC Modicon M340 (2).

A la maqueta, es farà servir material del fabricant Schneider que utilitza el protocol Modbus TCP/IP per a la comunicació amb la pantalla HMI.

### *Modbus sèrie RTU/ ASCII*

El protocol Modbus sèrie té les següents limitacions físiques a tenir en compte i que són independents del Master utilitzat:

- Nombre màxim d'equips sense repetidor per xarxa: 31 esclaus + 1 Master
- Cablejat:
  - Master – Slave : RS-232
  - Master – n x Slaves: RS- 485 (2 o 4 fils)
- Topologia : Bus (Daisy Chain).
- La longitud d'una xarxa Modbus sèrie depèn de:
  - Secció del cable
  - Velocitat transmissió de dades
  - Nombre d'esclaus
  - Cablejat a 2 / 4 fils

Cable AWG26, cablejat a 2 fils, a 9600 bps, la distància màxima és de 1km. Si el cablejat és a 4 fils, la distància és la meitat (500m)

La comunicació en Modbus sèrie, dos maneres de transmissió:

- Modbus RTU: Es codifica en paquets d'11 bits en binari. A cada byte d'informació se li afegeixen uns bits de control. Aquesta mode és el bàsic i ho han de tenir tots els equips que el volen comunicar en Modbus sèrie.
- Modbus ASCII: Manera Opcional que codifica les dades en hexadecimal, en comandos ASCII. Es codifica en paquets de 10 bits on als 7 bits de dades se li afegeixen uns altres de control.

El missatge és composta de dos enviaments. Per exemple, en Modbus RTU el primer enviament es fa del missatge que conté el byte de menor pes, i seguidament el missatge del byte de major pes.

Slave Address	Function Code	Data	CRC
1 byte	1 byte	0 up to 252 byte(s)	2 bytes CRC Low, CRC Hi

**Fig. 2.5** Missatge Modbus sèrie

Slave Address: Les adreces Modbus van de la 1 a la 247. Cadascuna d'elles ha de ser única en una xarxa Modbus Depenent el Master de Modbus de la xarxa, hi ha un màxim d'equips connectables per xarxa.

Codi de Funció: El codi de funció és el que determina l'acció a realitzar (lectura/escriptura,) així com definir el tipus d'informació que l'acció va a executar.

Peticion Modbus	Código Función	Dirección Modbus de Inicio	Objeto Modicon
Lectura Salidas Discretas	16#01	0000	%M
Lectura Entradas Discretas	16#02	10000	%M
Lectura Dato Reg 16 bits	16#03	40000	%MW
Lectura Reg. de Entrada	16#04	30000	%MW
Escritura de una Bobina (salida)	16#05	0000	%M
Escritura Dato Reg 16 bits	16#06	40000	%MW
Escritura Bobinas consecutivas	16#0F	0000	%M
Escritura Reg. 16 consecutivos	16#10	40000	%MW

**Fig. 2.6** Codi de funció del missatge Modbus sèrie

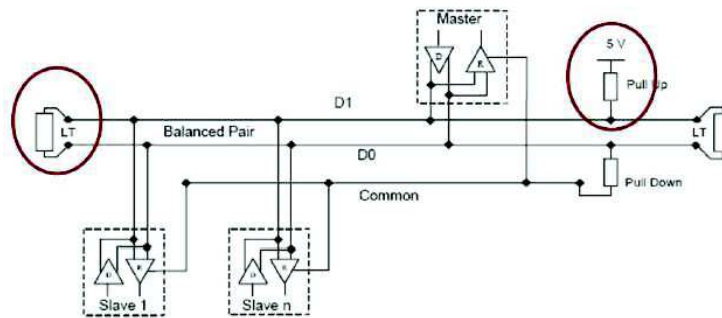
El sistema es basa en un tabulat d'àrees de memòria separades entre si, que són accessibles per un client Modbus (Master) per diferents camins (Codis de funció).

Per comprovar l'Error, dins de la trama de Modbus sèrie s'afegeixen uns bytes perquè l'equip receptor, que permet conèixer si hi ha hagut algun error en el va enviar o la recepció de la trama. Tant l'emissor com el receptor han de, una vegada analitzada la trama, arribar al mateix resultat en la revisió mèdica.

Existeixen en Modbus tres mètodes de comprovació d'errors:

- Control error per bit de paritat
- Control error per LRC – Solament per Modbus ASCII
- Control error per CRC – Solament per Modbus RTU

L'accés al medi físic, és l'opció de cablejat, majoritària en els equips de Schneider Electric. Es connecta punt a punt DB(D1), DA (D0) i 0Vdc en tota la xarxa.



**Fig. 2.7** Cablejat dels equips Schneider amb Modbus sèrie

En el circuit a dos fils és necessari que en l'inici del bus i al final del bus posar unes resistències de terminació (LT). El valor habitual de les resistències de final de línia per a les xarxes Modbus és de  $120\ \Omega$  cadascuna, la qual cosa en principi implica una resistència equivalent del bus de  $60\ \Omega$ . Aquesta resistència ha de ser ajustada en funció del nombre de participants així com la longitud de la xarxa.

També s'aprecien unes resistències de polarització (Pull-Up / Pull-Down)

Com a norma general, les resistències de polarització han de tenir un valor tal que la tensió entre les dues línies del bus estigui entre 200 mV i 400 mV quan no hi hagi activitat. Qualsevol nivell de soroll estarà per sota i per tant cap participant tendirà a comunicar. El valor habitual de les resistències de polarització de la línia Modbus (tant de pull up com de pull down) està entre  $450\ \Omega$  i  $650\ \Omega$ . El valor més habitual en els equips de Schneider és de  $470\ \Omega$ , encara que poden trobar-se equips que ofereixin  $4700\ \Omega$  (Ex: port Modbus del Twido).

### *Millors de modbus TCP*

Com el Modbus/TCP encapsula una trama Modbus en un segment TCP, això significa que es proporciona un servei orientat a connexió fiable, per tant que tota consulta espera una resposta.

Aquesta tècnica de consulta/resposta encaixa perfectament amb la naturalesa Mestre/Esclau de Modbus, afegit a l'avantatge del determinisme que les xarxes Ethernet commutades ofereixen als usuaris en la indústria. L'ocupació del protocol obert Modbus amb TCP proporciona una solució per a la gestió des d'uns pocs a desenes de milers de nodes.

Les prestacions del protocol Modbus TCP depenen bàsicament de la xarxa i el maquinari. Si s'usa sobre Internet, les prestacions seran les corresponents a temps de resposta en Internet, que no sempre seran les desitjables per a un sistema de control. No obstant això poden ser suficients per a la comunicació destinada a depuració i manteniment, evitant així desplaçaments al lloc de la instal·lació.

En els assajos pràctics realitzats per Schneider Automation utilitzant un PLC Ethernet Momentum™ amb entrades/sortides Ethernet, es va demostrar que es podien escanejar fins a 4000 blocs I/O per segon, cadascun amb fins a 16 I/O analògiques de 12-bits o 32 I/O digitals (es poden actualitzar 4 bases per mil·lisegon). Es va fer la prova amb una CPU de baixa velocitat (80186 a 50MHz amb 3 Mbps).

A més, l'abaratiment dels ordinadors personals i el desenvolupament de xarxes Ethernet cada vegada més ràpides, permet elevar les velocitats de funcionament, a diferència d'altres busos que estan inherentment limitats una sola velocitat.

### 2.1.2 CANopen

CANopen és una xarxa oberta admesa per més de 400 empreses de tot el món i promocionada per CAN in Automation. Està estandaritzat per la CiA CAN [5] per automatització.

CANopen està normalitzada en EN 50325-4 [6] i ISO 15745-2 [7] per la descripció del seu dispositiu.

CANopen és un protocol de nivell d'aplicació que es basa en CAN (Controller Area Network). Bosch va dissenyar CAN per a aplicacions d'automoció a principis de la dècada dels vuitanta. El seu ús en el sector de l'automoció ha demostrat la seva idoneïtat en entorns difícils. En 1980 La indústria de l'automòbil mostra la necessitat d'un bus barat, de temps real i altament robust per comunicar diferents components electrònics. CAN defineix únicament les capes 1 i 2 del model ISO.

#### *Característiques generals de CANopen*

CANopen [10] és un bus de tipus sèrie, basat en CAN, que treballa amb dispositius que disposen d'un transceptor CAN (interfície connexionat /senyal) i un controlador CAN (control), tal com especifica la norma ISO11898 [8] [9].

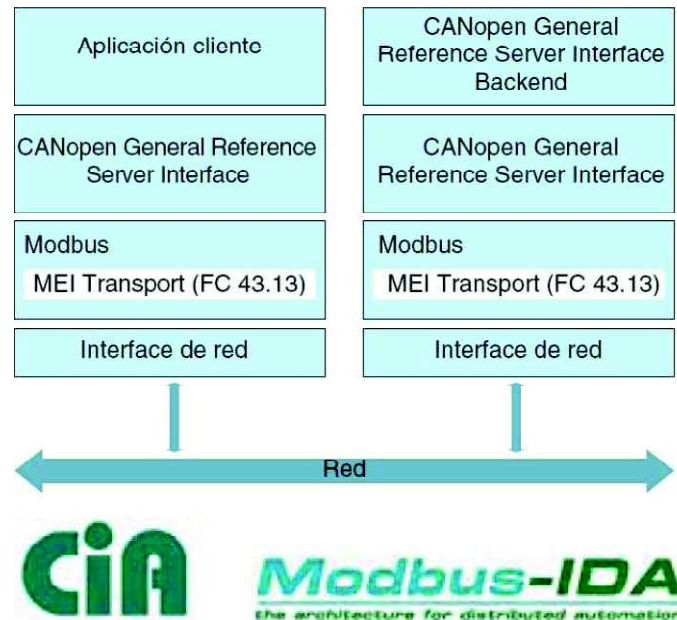
Es pot dir que CANopen és un compost entre CAN i una sèrie de serveis de comunicació. Algunes dades:

- 2 parells trenats (blanc, blau, negre, vermell)
- Protocol multimestre (un mestre en bus CANopen i dispositius de Schneider Electric)
- Topologia: en sèrie i/o amb derivacions
- Finals de línia (2 resistències de 120  $\Omega$  per segment)
- Velocitat: 1Mbit a 40m // 50kbit a 1km
- Molt robust i econòmic
- productor/consumidor i mestre/esclau
- 64 nodes màxim per segment i 127 nodes en el bus.
- Funcions de comunicació *CANopen: transparent per a Ethernet*



CAN in Automation i Modbus-IDA han treballat estretament per emetre un estàndard que permet la transparència entre CANopen i Modbus TCP/IP.

Aquesta col·laboració va derivar en l'especificació CiA DSP309-2, que ofereix una definició estàndard per a la comunicació entre Modbus TCP/IP i una xarxa CANopen.



**Fig. 2.8** CiA DSP309-2

En l'especificació es defineixen els serveis d'assignació de manera que els dispositius CANopen es puguin comunicar en una xarxa Modbus TCP/IP a través d'un dispositiu gateway.

L'accés a la informació d'un dispositiu CANopen s'admet tant en lectura com en escriptura, juntament amb tota una varietat de funcions de control de dispositius.

Aquesta especificació és el primer estàndard que permet la instal·lació d'un estàndard de comunicació obert entre Modbus TCP/IP i CANopen. Orienta la solució de xarxa de Schneider Electric cap a una millor integració, diagnòstic configuració en aplicacions distribuïdes. Permet que les màquines i les instal·lacions es connectin perfectament a una planta Ethernet que combini els avantatges de cada xarxa a la seva pròpia àrea específica.

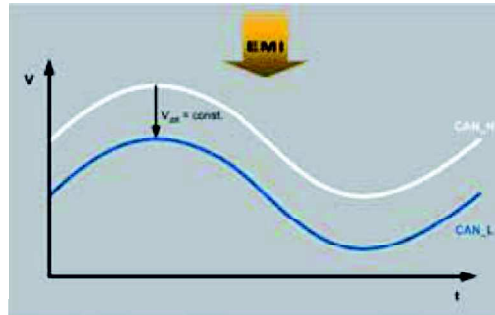
### *Transmissió fiable*

L'accés a la xarxa de CANopen no és destructiu. Quan qualsevol dispositiu CANopen transmeti les seves dades, el sistema genera automàticament i té en compte la prioritat del missatge.

La pèrdua de telegrams a causa d'una col·lisió és impossible i s'evita perdre temps fins al següent estat lliure de la xarxa.

### *Immune a interferències electromagnètiques*

Es deu a les altament resistent funcions EMI (Electromagnetic interference) de CANopen. Això permet a una màquina o instal·lació funcionar de forma precisa fins i tot quan les interferències són elevades. Els petits marcs de CANopen i la connexió "CAN ground" que ofereixen el mateix potencial per a qualsevol dispositiu connectat a la xarxa, protegeixen enfront d' EMI.

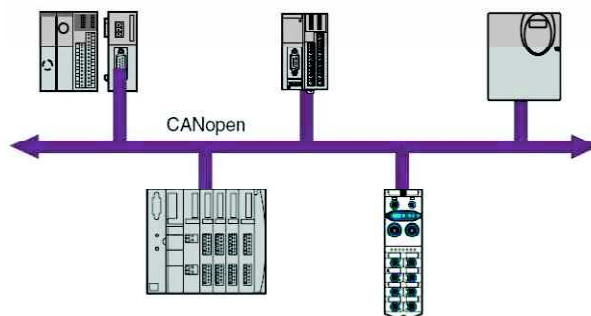


**Fig. 2.9** Nivell de tensió CAN-H y CAN-L

CANopen ofereix una transmissió de dades altament fiable. És una de les raons per les quals les xarxes CANopen s'utilitzen en equips mèdics i com a base per a les xarxes de seguretat.

### *Detecció d'errors*

Les interrupcions són sempre perllongades i costoses. CANopen està perfectament dissenyat per augmentar el temps de funcionament el màxim possible. Amb una distància de Hamming de 6, CANopen compta amb una detecció d'errors i un mecanisme de correcció òptims. Amb una probabilitat d'un error no detectat cada 1.000 anys, la xarxa és la més fiable per a les màquines i les instal·lacions.



**Fig. 2.10** Arquitectura típica

En cas que la xarxa present una condició d'error, el watchdog és la primera possibilitat per controlar l'estat del dispositiu. A més, CANopen ofereix una clara informació de diagnòstic. Cada missatge de diagnòstic conté l'origen i el motiu de la fallada, la qual cosa permet reaccionar ràpidament i reduir el temps

d'inactivitat. La informació de diagnòstic addicional s'aplica per millorar el diagnòstic de dispositius CANOpen complexos i per admetre els que s'encarreguen de mantenir la xarxa.

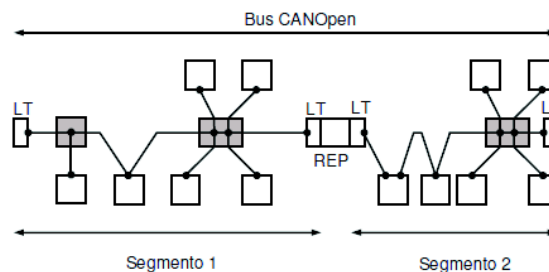
També es troba disponible un historial de fallades d'ajudar a detectar fallades aleatòries.

### *Disseny del bus*

A l'hora de dissenyar una instal·lació de CANOpen és necessari conèixer la següent informació:

#### 1. Topologia del bus.

Un bus CANOpen es pot dividir en diferents segments. Cada segment es pot connectar per mitjà d'un repetidor i ha de tenir unes resistències de terminació (LT) en els dos extrems.



**Fig. 2.11** Bus CANOpen amb 2 segments

#### 2. Tipus de connexió entre nodes:

- Per derivació (drop), mitjançant derivacions (drop) connectats a caixes de connexions de port simple o múltiple (tap).
- En sèrie (daisy-chain), amb un connector (Nodes 2, 8) o amb dos connectors (Node 7).

L'ús de dos connectors no es recomana ja que el canvi d'un equip provocaria el tall del bus.

Per a la connexió dels diferents nodes existeixen cables pre-ensamblats (RJ45, SUB-D 9 contactes, fils lliures, etcètera), cables CANOpen estàndard o flexible (de 50m, 100m o 300m), connectors, adaptadors i diversos tipus de taps (caixa de connexions CANOpen).



**Fig. 2.12** Connector Sub-D 9 i caixa de connexions CANOpen ( tap)

### 3. Limitacions pel que fa a la longitud del bus principal i de les derivacions:

En CANopen la prioritat de les trames es gestionen mitjançant la col·lisió entre nivells dominant i recessiu de la línia de comunicació. Aquesta col·lisió s'ha de resoldre durant la transmissió d'1 bit, la qual cosa limita el retard en la propagació del senyal entre nodes i això, al seu torn, limita la màxima distància de bus admissible en una xarxa CAN, que, com a restricció principal, depèn de la velocitat del bus (ràtio distància/velocitat del bus):

**Taula 2.1.** Taula de relació de velocitats CANopen

<b>Veloc.(kbps)</b>	1000	800	500	250	125	50	20	10
<b>Longitud màx. m)</b>	20	40	100	250	500	1000	2500	5000

#### *Principi de funcionament*

En CAN s'ha implementat una arquitectura d'emissió. L'emissor (editor) emet el missatge al costat d'un identificador en el bus. Els receptors supervisen tot el tràfic en el bus. Si l'identificador coincideix amb els criteris de filtre de la subscripció, el client llegeix i processa el missatge complet. D'aquesta manera, el receptor es converteix en subscriptor. Aquesta és el mode push del model d'editor i subscriptor.

CAN també admet un mode pull del model d'editor i subscriptor. Un consumidor pot activar la transmissió d'un missatge amb una petició de transmissió remota. La petició de transmissió remota o RTR (remote transmission request) és una trama de CAN amb el senyal RTR. Quan el productor rep una petició d'aquest tipus, transmet el missatge associat.

#### *Trama CAN*

Una trama CAN comença amb un bit d'inici de trama o SOF (start of frame). Li segueixen onze bits d'identificador, des del bit més significatiu almenys significatiu. El següent bit és el bit de petició de transmissió remota o RTR (remote transmission request) seguit de cinc bits de control i d'una càrrega de fins a vuit bytes. Els bits de control són l'identificador ampliat o IDE, un bit de reserva i tres bits que codifiquen la longitud de la càrrega en la part de les dades (DLC) en bytes.

Una seqüència de comprovació de trama o FCS (frame check sequence) segueix a la càrrega útil de fins a vuit bytes. L'emissor transmet un bit ACK recessiu, que sobreescriran amb un bit dominant els receptors que han rebut la trama sense errors en aquest moment. El bit de finalització de trama o EOF (end of frame) assenyala la fi del missatge.

El bus ha de romandre en estat recessiu per a les longituds de bits d'espai de trama de intermissió o IFS (intermission frame space) abans que comenci la següent trama.



**Fig. 2.13** Trama CANopen

La trama de missatges de CAN descrita és una trama de missatges bàsica. Per a les aplicacions que necessiten un conjunt major d'identificadors, s'ha definit la trama de missatges CAN ampliada. La trama ampliada disposa de 18 bits d'identificació addicionals en l'encapçalat, després dels bits de control. Això amplia la gamma de 211 a 229 identificadors diferents. Tots dos tipus de trames poden coexistir en el bus.

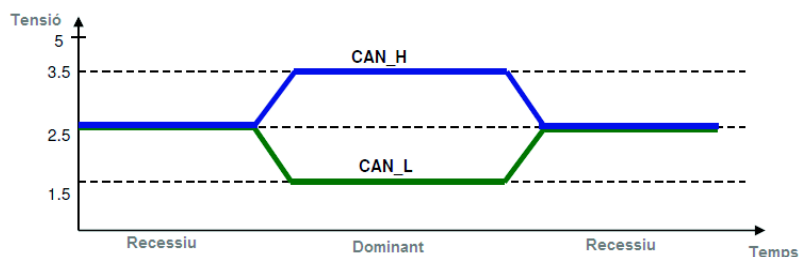
### CSMA/CD+AMP

CAN és un sistema de bus d'accés múltiple de detecció de transportador, amb detecció de col·lisió i arbitratge per establir prioritats amb els missatges (CSMA/CD+AMP). ja que la col·lisió en si mateixa no es produeix en CA, sovint es descriu com a accés múltiple de detecció de transportador amb elusió de col·lisions o CMSA/CA (carrier sense multiple access with collision avoidance)

### Arbitratge del bus

Un problema que normalment es produeix amb una arquitectura d'emissió és que diferents nodes de la xarxa poden realitzar enviaments al mateix temps. CAN resol aquest problema amb dos mecanismes:

- Estat recessiu i estat dominant:  
Un emissor supervisa el mitjà per comparar si un altre node també està realitzant un enviament. Si el mitjà està lliure, el node comença l'enviament. La codificació de bits del mitjà posseeix un valor recessiu o dominant. Aquests estats es calculen amb la diferència de tensió entre CA\_L i CA\_H:
  - Estat recessiu:  $V_{CAN\_H} - V_{CAN\_L} = 0V$  (-0.5 V a + 50 mV)
  - Estat dominant:  $V_{CAN\_H} - V_{CAN\_L} = 2V$  (1.5 V a 3.5 V)



**Fig. 2.14** Nivells de tensió al Bus

Si dos nodes realitzen un enviament al mateix temps, un receptor només veurà el valor dominant.

En la codificació binària, el valor "0" és el dominant i el valor "1" és el recessiu.

Nodo A	Nodo B	Nodo C	Bus
D	D	D	D
D	D	R	D
D	R	D	D
D	R	R	D
R	D	D	D
R	D	R	D
R	R	D	D
R	R	R	R

**Fig. 2.15** Arbitratge del Bus

- Identificador del missatge  
No obstant això, pot ser que diversos nodes comencin a realitzar l'enviament al mateix temps. CAN resol aquest problema amb un esquema de prioritats. Quan un node realitza un enviament, sempre es troba a l'escolta en el bus. Si està enviant un valor recessiu i està rebent un bit dominant, deté l'enviament i continua escoltant únicament. Aquest senzill mecanisme evita les col·lisions en el bus CA. El missatge amb l'identificador més sota gana en el sistema d'arbitratge del bus.

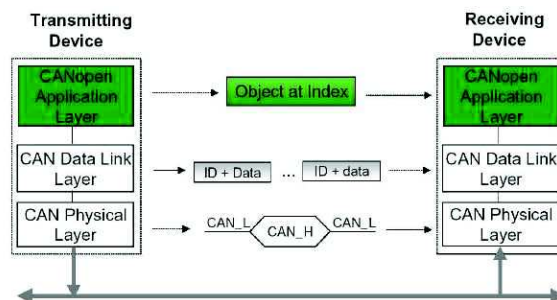
### Protocol CANopen

El protocol està estandarditzat per CiA CAN en l'automatització. És un protocol d'alt nivell de CAN. Defineix serveis de comunicació orientats a solucions industrials d'automatització.

Cada dispositiu d'un cert tipus, sigui del fabricant que sigui, comunica les seves funcions bàsiques mitjançant el mateix perfil. La informació de cada node s'estructura en un diccionari d'objectes.

Es tracta de comunicacions de tipus:

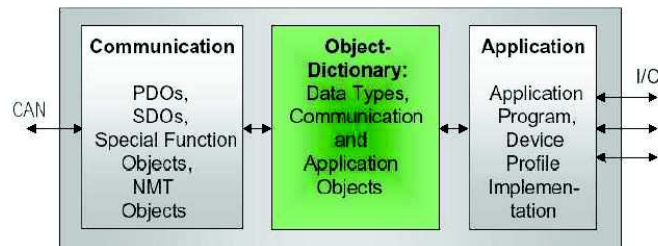
- Productor/Consumidor per a dades configurades (PDO = Comunicacions Implícites)
- Mestre/Esclau per a dades programades (SDO = comunicacions explícites)
- Mestre / Esclau per a gestió de xarxa (NMT)



**Fig. 2.16** Esquema de comunicació entre nodes

Un equip CANopen es pot dividir en tres parts:

- Communication interface: proveeix els serveis d'enviament i recepció d'objectes de comunicació pel bus
- Object dictionary: Defineix tots els tipus de dades, objectes de comunicació i objectes d'aplicació utilitzats per l'equip. Aquesta informació es troba en l'arxiu EDS.
- Application: Conté la funcionalitat de control de l'equip i l'interfície amb el maquinari de l'equip



**Fig. 2.17** Les tres parts d'un equip CANopen

En la maqueta es faran servir PDO per comunicar l'autòmat M-340 amb el variador .

Un Objecte de dades de procés o PDO (Process data object) s'utilitzen per llegir/escriure ràpidament dades de procés, per a aplicacions de temps real. Un PDO pot transportar una càrrega útil de 8 bytes, que és la càrrega màxima d'una trama CA. Per defecte, cada node té accés a només 4 PDOs.

Un dels avantatges que ofereix CANopen respecte a altres busos és la possibilitat de configurar el contingut dels paràmetres que s'envien/reben en un PDO. A això se li denomina "mapejat dinàmic". Els objectes manejables permesos per l'equip es troben continguts en l'arxiu EDS que es proporciona amb cada equip de CANopen. Es seleccionen els registres que es desitgen llegir/escriure des del diccionari d'objectes i s'afegeixen als PDOs d'emissió i PDOs de recepció.

### 2.1.3 OPC

Un servidor OPC [11] és una aplicació de programari (driver) que compleix amb una o més especificacions definides per la OPC Foundation.

#### *El Servidor OPC*

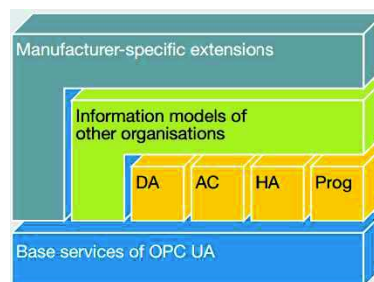
El Servidor OPC [13] fa d'interfície comunicant d'una banda amb una o més fonts de dades utilitzant els seus protocol natiu (típicament PLCs, DCSs, bàscules, Modulos I/O, controladors, etc.) i per l'altre costat amb Clients OPC (típicament SCADAs, HMIs, generadors d'informes, generadors de gràfics, aplicacions de càlculs, etc.).



Existeixen quatre tipus de servidors OPC definits per la OPC Foundation, i són els següents:

- Servidor OPC DA:  
Basat en especificacions bàsiques: OPC Data Access - especialment dissenyat per a la transmissió de dades en temps real.
- Servidor OPC HDA:  
Basat en l'especificació d'Accés a Dades Històriques que proveeix al Client OPC HDA de dades històriques.
- Servidor OPC A&E Server:  
Basat en l'especificació d'Alarmes i Esdeveniments – transfereix Alarmes i Esdeveniments des del dispositiu cap al Client OPC A&E.
- Servidor OPC UA:  
Basat en l'especificació d'Arquitectura Unificada – basat en el set més nou i avançat de la OPC Foundation, permet als Servidors OPC treballar amb qualsevol tipus de dades.

En conjunt, els tres primers tipus de Servidors OPC es coneixen com a Servidors OPC "Clàssics" per distingir-los de OPC UA que es convertirà a la base de les futures arquitectures OPC.



**Fig. 2.18** Arquitectura d'un OPC UA

OPC UA presenta dues importants innovacions al món OPC. D'una banda, reemplaça el protocol DCOM, específic de Windows, per protocols oberts i independents de la plataforma que incorporen, a més, mecanismes de seguretat. I, per una altra, incorpora un model d'informació orientat a objectes que agrupa funcionalitats tradicionals de OPC -com a accés a dades, històrics, alarmes i esdeveniments- i incorpora unes altres totalment innovadores com a tipus de dades i mètodes.

Com a resultat de tot això, no només es simplifica la incorporació de la interfície OPC en qualsevol sistema operatiu i llenguatge de programació sinó que, a més es fa possible descriure qualsevol sistema complex amb OPC UA.

El fet que l'estructura de l'espai d'adreçament dels servidors OPC UA estigui orientada a objectes i que la interfície per accedir a aquesta estructura sigui tan



genèrica fa que OPC UA pot ser considerat un llenguatge de programació que incorpora capacitats de comunicació via xarxa.

OPC UA s'enfoca realment per a les tecnologies d'automatització al moment en què es defineixen els models d'informació, orientats a objectes, per a accés a dades, històrics, programes, alarmes i condicions. I en la seva definició no ha estat necessari modificar els protocols i la interfície bàsica de OPC UA.

L'extensibilitat de OPC UA per modelatge de la informació ho converteix com a una plataforma universal de comunicació que pot servir de base per a altres estàndards IEC. L'OPC UA és un estàndard de comunicació conforme a IEC 62541. A continuació, estàndards on s'aplica:

- OPC UA per a Dispositius Analitzadors (ADI)

Aquesta especificació defineix un model d'informació per a complexos dispositius d'anàlisi de procés com, per exemple, un cromatògraf de gasos. A més dels seus diversos components, també estandarditza els seus paràmetres de configuració i màquines d'estat més típics. L'especificació ADI va ser creada per suggeriment d'usuaris de dispositius per a anàlisi de processos a fi de simplificar la seva integració amb els sistemes d'automatització. L'especificació ASI utilitza com a base el model per a dispositius (DI) de OPC UA.

- OPC UA per a IEC 61131-3 (PLCOPEN [12])

L'estàndard IEC 61131-3 defineix diversos llenguatges de programació com a model de programari per a la programació de sistemes de control. L'especificació defineix com implementar aquest model de programari a l'espai d'adreçament d'un servidor OPC UA. D'aquesta manera, les classes (o tipus) d'objectes de OPC UA es creen d'acord a les declaracions dels blocs de funció del PLC i els corresponents objectes OPC UA s'instancien de manera conforme als blocs de funció instanciats en el PLC. L'avantatge d'aquesta forma de treballar radica que cada programa de control, amb independència del PLC i servidor UA utilitzat, presenta sempre la mateixa estructura de classes i objectes a l'espai d'adreçament.

- Field Device Integration (FDI)

En l'actualitat s'utilitzen dos estàndards per a la configuració de dispositius de camp, EDDL i FDT. En el llenguatge per a descripció de dispositius electrònics (Electronic Device Description Language, EDDL) els paràmetres de configuració dels dispositius de camp es defineixen en un fitxer de descripció i la configuració es realitza prenent aquests paràmetres com a base. L'eina per a dispositius de camp (Field Device Tool, FDT), no obstant això, part de la base que el fabricant de cada equip desenvolupa un component programari que permet realitzar la seva configuració general amb l'eina. Tots dos estàndards es van a fusionar en un únic, gràcies a l'estàndard comú FDI, utilitzant OPC UA.

En FDI, cada dispositiu de camp ha de ser descrit mitjançant el que es denomina Device Package, que consisteix en una descripció general dels

seus paràmetres i les seves interfícies d'usuari. El servidor de configuració és un servidor OPC UA que emplena el seu espai d'adreçament d'acord amb els Device Packages; i els interfícies de configuració són clients OPC UA que accedeixen als paràmetres de l'equip per mitjà de OPC UA, utilitzen elements específics per a interfície d'usuari presents en els Device Packages i els presenten en pantalla.

OPC UA també té interoperabilitat en el nivell semàntic:

- ISA-95 i ISA-88:  
Aquests dos estàndards ISA defineixen models d'informació per a la implantació de tasques per lots (batch) i en sistemes de control de la producció. La migració d'aquests models a OPC UA ja ha estat planificada.
- Smart Grid:  
Existeixen diversos estàndards en el camp de la generació i transport energètic i s'estan creant nous estàndards per a les xarxes de distribució d'energia intel·ligents (smart grid). En aquest àmbit, estan en estudi diverses migracions d'estàndards existents a OPC UA o, fins i tot, l'ús de OPC UA en nous estàndards.
- MTConnect:  
MTConnect defineix estàndards per al subministrament de dades de les màquines. La migració de les seves descripcions de dades a un model d'informació OPC es definirà en un grup de treball comú.

#### *Arquitectura Client OPC/ Servidor OPC*

En una arquitectura Client OPC/ Servidor OPC, el Servidor OPC [9] és l'esclau mentre que el Client OPC és el mestre. Les comunicacions entre el Client OPC i el Servidor OPC són bidireccionals, la qual cosa significa que els Clients poden llegir i escriure en els dispositius a través del Servidor OPC.



**Fig. 2.19** Esquema genèric de comunicacions entre OPCclient, OPCserver i OPC Source

- Comunicacions Client OPC / Servidor OPC (Servidor OPC DA, Servidor OPC HDA, Servidor OPC A&E)

Els Servidors OPC clàssics utilitzen la infraestructura COM/DCOM de Microsoft Windows per a l'intercanvi de dades. El que significa que aquests Servidors OPC han d'instal·lar-se sota el Sistema Operatiu de Microsoft Windows. Un Servidor OPC pot suportar comunicacions amb múltiples Clients OPC simultàniament.

- Servidor OPC - Traducció de Dades/Mapping

La principal funció d'un Servidor OPC és el traduir dades natives de la font de dades en un format OPC que sigui compatible amb una o més especificacions OPC esmentades anteriorment (exemple: OPC DA per a dades en temps real). Les especificacions de la OPC Foundation solament defineixen la porció OPC de les comunicacions del Servidor OPC, així que l'eficiència i qualitat de traducció del protocol natiu a OPC i de OPC al protocol natiu depenen enterament de la implementació del desenvolupador del Servidor OPC.

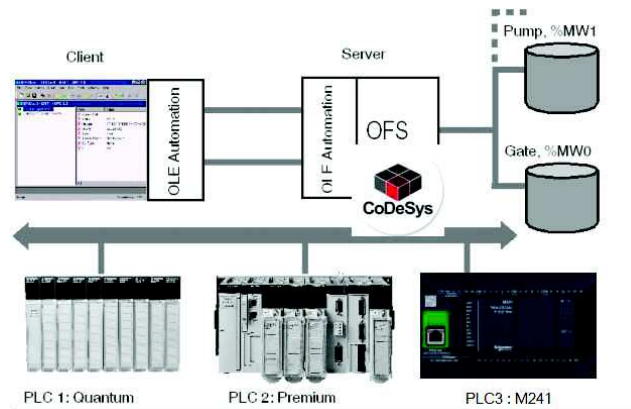
- Servidor OPC –Comunicació Font de Dades

Els Servidors OPC comuniquen nadiuament amb les fonts de dades, per exemple: dispositius, controladors i aplicacions. Les especificacions de la OPC Foundation no especifiquen com el Servidor OPC s'ha de comunicar amb la font de dades perquè hi ha una gran varietat de fonts de dades disponibles al mercat. Cada PLC, DCS, controlador, etc. té el seu propi protocol de comunicació o API que al seu torn permeten la utilització qualsevol quantitat de connexions físiques (serial RS485 o RS232, Ethernet, wireless, xarxes propietàries, etc.).

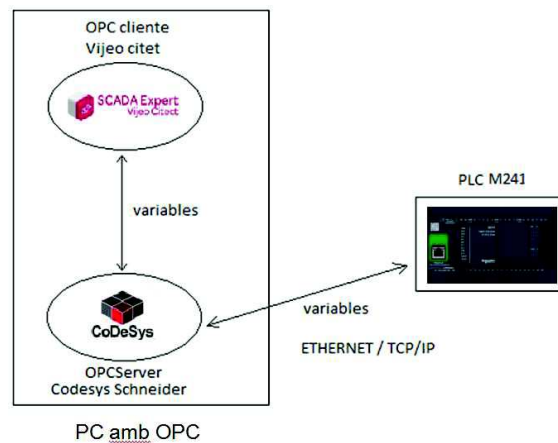
Dos exemples comuns de com es comuniquen els Servidors OPC amb la Font de Dades són:

- A través d'una interfície de programació d'aplicacions (API) per un driver personalitzat escrit específicament per a la Font de Dades.
- A través d'un protocol que pot ser o no ser propietari, o basat en un estàndard obert.

En el nostre cas, el OPCserver que proporciona el fabricant, Schneider, és un OPCserver DA. Com ja hem vist, segons la OPC Foundation, el Servidor OPC DA és un OPC Data Access, que està especialment dissenyat per a la transmissió de dades en temps real. La transmissió en temps real és la més idònia per a les dades que treballen a les comunicacions industrials.



**Fig. 2.20** Esquema general de comunicacions amb OPC Schneider



**Fig. 2.21** Esquema general de configuració amb OPC Schneider

#### 2.1.4 Control PID

Els controladors PID [14] van ser inventats per simplificar les tasques dels operadors i exercir un millor control sobre les operacions. Algunes de les aplicacions més comunes són:

- Temperatura (Aire condicionat, Escalfadors, Refrigeradors, etc.)
- Nivell (Nivell en tancs de líquids com aigua, làctics, barreges, cru, etc.)
- Pressió (per mantenir una pressió predeterminada en tancs, tubs, recipients, etc.)
- Flux (mantenen la quantitat de flux dins d'una línia o tub)

Els controladors PID [15], inclouen tres accions: proporcional (P), integral (I) i derivativa (D).

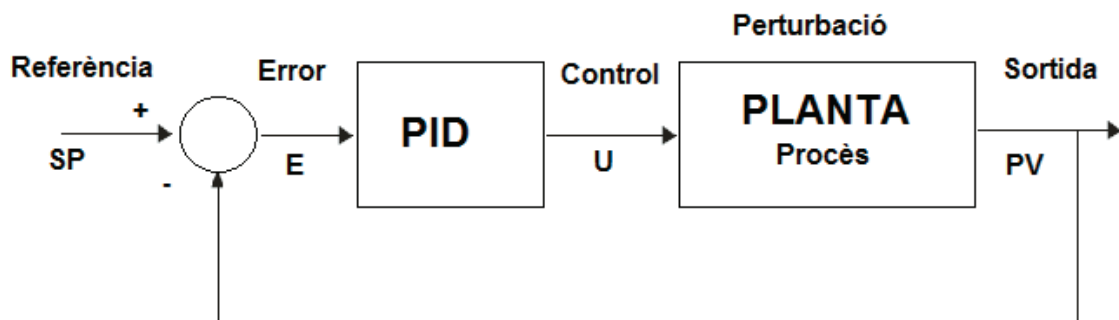
La combinació d'aquestes accions dóna lloc a les següents formes de control: P, I, PI, PD i PID.

P: acció de control proporcional, dóna una sortida del controlador que és proporcional a l'error, és a dir:  $u(t) = K_p \cdot e(t)$ , on  $K_p$  és un guany proporcional ajustable. Un controlador proporcional pot controlar qualsevol planta estable, però té limitació i error en règim permanent (off-set).

I: acció de control integral: dóna una sortida del controlador que és proporcional al error acumulat, el que implica que és una manera de controlar lenta. És a dir:  $u(t) = K_i \int e(t) dt$ . La senyal de control  $u(t)$  té un valor diferent de zero quan la senyal d'error  $e(t)$  és zero. Pel que conclou que donada una referència constant, o pertorbacions, l'error en règim permanent és zero.

D: acció de control derivatiu: Aquesta acció té caràcter de previsió, el que fa més ràpida l'acció de control, encara que té el desavantatge important que amplifica les senyals de soroll i pot provocar saturacions en l'actuador. És a dir:  $u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt}$  on  $T_d$  és una constant anomenada temps derivatiu. L'acció de control derivativa mai s'utilitza per si sola, a causa que només és eficaç durant períodes transitoris.

PID: acció de control proporcional-integral-derivativa, aquesta acció combinada reuneix els avantatges de cadascuna de les tres accions de control individuals. la equació d'un controlador amb aquesta acció combinada s'obté mitjançant:  $u(t) = K_p e(t) + 1/T \int e(t) dt + 1/T_d \frac{de(t)}{dt}$  on  $K_i = 1/T_i$  i  $K_d = 1/T_d$ .

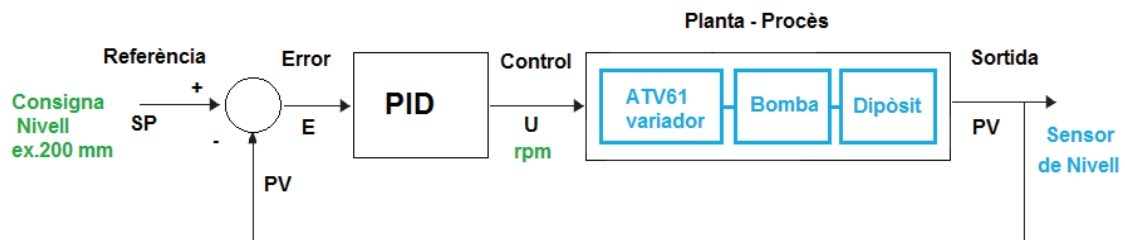


**Fig. 2.22** Esquema de blocs d'un PID

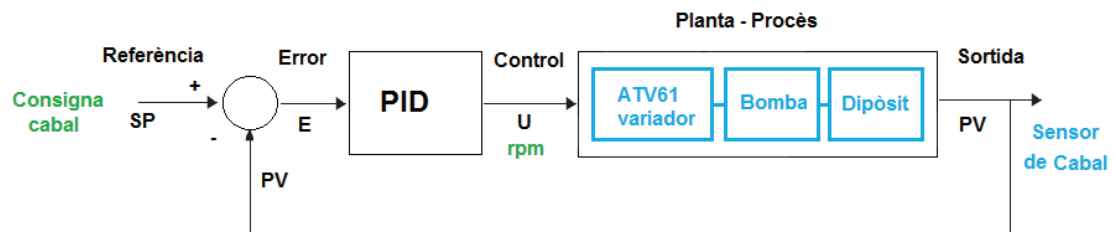
Normalment,  $U$  actua sobre un element de control: actuador proporcional connectat a una bomba d'injecció, senyal de control, entre d'altres. El SP (set point) és el valor de consigna, és a dir, el valor que volem que prengui el

sistema, com per exemple una velocitat de 1500 rpm, un nivell, etcètera. Aquest valor és comparat amb PV, que és la mesura de U. És a dir, PV és un detector magnètic de velocitat, un sensor de nivell, etcètera. El resultat de la comparació es denomina Error. Aquest valor es modifica mitjançant la regulació del PID

A la maqueta es farà un PID de nivell i un altre de cabal, dos dels exemples típics de control.



**Fig. 2.23** Esquema de blocs del PID de Nivell



**Fig. 2.24** Esquema de blocs del PID de Cabal

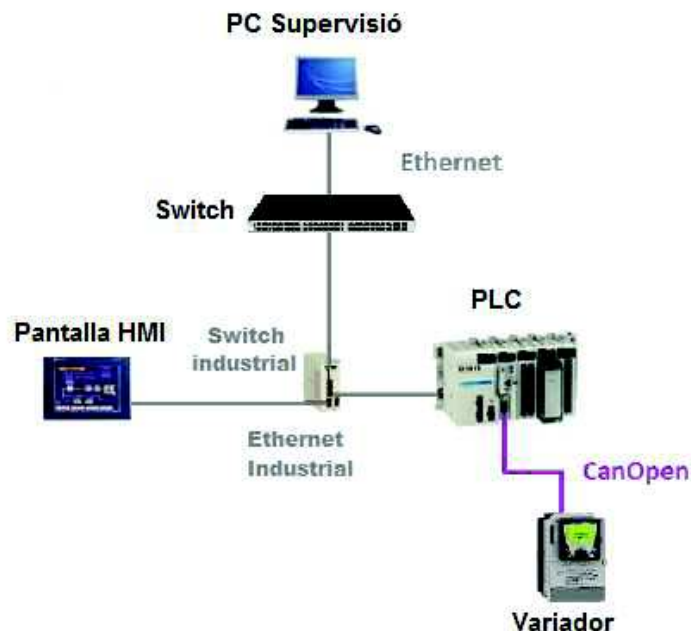
## 2.2. Requeriments

La maqueta es farà en funció de l'estudi realitzat, segons les necessitats del mercat i amb el material disponible al centre.

La idea és fer un entorn de treball on situar els elements principals i dispositius necessaris com el PLC, la pantalla HMI, botonera, dipòsits, variador, motor, sensors, electrovàlvules, etcètera.

Per tal de complir amb aquests requeriments es proposa fer una maqueta que controli l'emplenament i buidat d'un dipòsit a través dels sensors de nivell i cabal, i del motor amb el variador. La supervisió es farà des de el PC amb els diferents programes: el propi PLC quant està en connexió en línia amb la maqueta, i l'SCADA a través del seu sinòptic de funcionament.

Aquesta es la maqueta que es vol construir:



**Fig. 2.25** La maqueta i les seves comunicacions

Per realitzar la maqueta es posa un PLC que disposa de tecnologia Ethernet industrial, en aquest cas ModBus TCP/IP per a la comunicació amb la pantalla HMI , L'SCADA i el PC (els antic models es comunicaven amb Modbus-RTU). El PLC és el M340 que és un PLC de nivell de programació de control industrial de planta. El software que es farà servir per programar el PLC és el que proporciona Schneider, Unity.

Per al control del variador que alimentarà el motor (bomba) es connectarà al PLC, amb el bus de camp CANOpen basat en l'estàndard CANBUS. D'aquesta manera es podrà configurar des del programa software del PLC el

comandament del variador. Aquesta manera de comunicació és millor que la que es feia antigament abans de les comunicacions de bus de camp. Abans es connectaven directament per entrades analògiques i sortides analògiques/digital necessàries del PLC al variador, amb la limitació que comporta d'entrades/ sortides disponibles del PLC i del comandament de menys opcions. Aquest sistema encara es fa servir en algunes configuracions industrial on hi ha problemes de bus de comunicacions entre marques diferents o sistemes antics de comunicació amb noves tecnologies. El software que es farà servir per programar el variador serà el mateix que el del PLC, ja que dins el programa disposa de funcions concretes de comunicació amb el CANopen. El variador permet configurar les seves funcions i opcions per una pantalla HMI integrada amb el variador o amb el software que es farà servir per programar el variador és el que proporciona Schneider, el Somove Lite.

La maqueta ha de contenir sensor analògics i digitals per veure el funcionament d'aquest dispositius tipus, en aquest cas es necessiten: Sensors de nivell digitals per al nivell alt i baix del dipòsits d'emplenament i buidat, i sensors analògics de nivell, que indica el nivell real del dipòsit, i de cabal.

Per al comandament del variador i de l'estació s'instal·laran físicament dos sistemes a l'abast de l'usuari, a través de botonera ( botonera cablada per a entrades digitals físiques de PLC) i a través de pantalla HMI (botonera programada amb més funcions que una botonera cablada, enllaçada amb el PLC a través d'espai a la memòria interna del PLC). L'interruptor d'emergència ho parará tot. El software que es farà servir per programar la pantalla és el que proporciona Schneider, el Vijeo Designer.

Un tercer sistema de control i a més a més de supervisió del sistema d'emplenat i buidat de la maqueta s'establirà al PC amb l'SCADA. El software que es farà servir per programar la pantalla és el que proporciona Schneider, el Vijeo Citect. Aquest software, com altres del mercat, permet alarmes i històric de dades que poden ser analitzades posteriorment. L'SCADA és més amigable per al usuari que ha de supervisar el sistema perquè permet millor gràfics i pantalles més grans que les pantalles HMI que hi són normalment a peu de màquina i es fan servir de mode més senzill. Encara que la pantalla HMI també disposa d'alarmes, seguretat, i diferents idiomes de configuració estan pensades per usos diferents.

Per a les comunicacions es muntarà un switch que connectarà la pantalla HMI, el PLC i el PC on s'instal·larà el software necessari i que a més a més farà de PC de supervisió de Planta. Inicialment es pot fer una xarxa entre ells però també es poden connectar a una xarxa interna d'aula que disposi per exemple d'un router amb DHCP. A aquesta xarxa podrem connectar més PLC's, PC's, etcètera, on hi seran tots els dispositius interconnectats com al model industrial. L'aula també pot estar connectada a la Internet per fer les comunicacions amb la xarxa externa. Normalment, quan es connecta un DHCP, es reserven IP's fixes per als dispositius que cal que la seva adreça no canviï cada vegada que es connecten perquè sinó s'haurien de tornar configurar, com són els PLC's i les pantalles HMI.



## 2.3. Definició de les fases del disseny i implementació

La maqueta es farà en funció de l'estudi realitzat, segons les necessitats del mercat i amb el material disponible al centre.

Així, La maqueta industrial de regulació i control en xarxa contindrà les següents fases:

*Fase Prèvia : Disseny de la maqueta.*

Tasques associades a la fase prèvia:

- Les taques corresponen als requeriments exposats a l'apartat 2.2:
  - Definició de l'estació de treball. Funcionalitat
  - Definició de l'entorn de treball, on situarem els elements
  - Definir les comunicacions entre els elements: PLC, PC, HMI, SCADA, Variador.
  - Definició de Material:
    - Material Mecànic
    - Material Hidràulic
    - Material elèctric
  - Selecció del programari adient: Unity, Somove, Vijeo Designer, Vijeo Citect

*Primera fase : Muntatge mecànic de la taula, els dipòsit, i la hidràulica.*

Tasques associades a la primera fase:

- Mecanització i muntatge del dos dipòsits de metacrilat: un és des d'on s'agafa el líquid (aigua) i un altre on s'anirà omplint de líquid (l'aigua) del dipòsit de sota. Es posarà una mànega per buidar el dipòsit
- Mecanització de la taula que permet la integració de tots els components de l'estació:
  - Quadre d'automatisme elèctric (Proteccions, Font d'alimentació, PLC, VARIADOR..)
  - Dipòsit i motor ( bomba impulsora) que s'ubicarà a baix, i serà connectada amb el dipòsit de dalt a través d'una mànega, i colzes corresponents. I connexió de les electrovàlvules per obrir i tancar el pas del cabal.
  - Part superior de la taula hi haurà la pantalla HMI, i el dipòsit receptor de líquid, botonera de comandament i diferents sensor de nivell, cabal i les interconnexions. Posar aquest elements a la part de dalt permetrà a l'usuari/alumne/professor interactuar comandament
- Muntatge del elements hidràulics per adaptar la bomba, electrovàlvules, etcètera.

- Les característiques de la taula són : Taula amb perfil de alumini ranurat, de 700 x 600 mm i alçada 750 mm

### *Segona Fase : Muntatge i cablejat elèctric i de comunicacions*

Tasques associades a la segona fase:

- Mecanització, muntatge i cablejat del quadre d'automatisme elèctric a un lateral de la taula
  - Proteccions : Són els elements que protegeixen la instal·lació i la part de potencia del motor ( variador)
  - Font d'alimentació 24 V : És el dispositiu que converteix el corrent altern (CA), corrent continu (CC) de 24V, que alimenten els diferents elements elèctrics de comandament: Polsador i sensors
  - PLC: és l'element que té el comandament del procés. Disposa d'entrades digitals a 24 V la botonera, sensors de nivell, entrades variador ( Run, Error) entrada analògica de 0-10V del sensor de nivell i 4-20 mA/0-10V cabal, i sortides digitals a transistor a 24V, al igual que els sensors.
  - Variador : és l'element que controla el motor ( arrancada, parada, velocitat, etc). Es comunica amb el PLC directament amb cable, mitjançant bus CANopen
  - Switch: és l'element que comunicarà via Ethernet el PLC amb la pantalla HMI, i el PC d'usuari on estaran instal·lat els programes software de programació i monitorització de l'estació. Així com L'SCADA.
- Muntatge i cablejat Botonera de comandament a la part superior de la taula:
  - Polsadors marxa, parada, rearmament. Selector cicle continu/únic i seccionador. són els elements que permeten comandar el variador ( motor).
  - Piloto indicador. Pilot indicador d'error de variador.
- Muntatge i cablejat de la pantalla HMI a la part superior de la taula. La pantalla d'operador és l'element que serveix per al control programat dels del PLC. Es comunica amb el PLC via MODBUS TCP/IP
- Muntatge i cablejat dels sensors a la part de dalt de la taula i amb el PLC
  - Sensor de Nivell baix i sensor de nivell alt, són el sensor per detectar el nivell del dipòsit
  - Sensor de cabal és el sensor que permet mesurar el cabal de líquid.

### *Tercera fase : Programació de PLC,HMI,SCADA*

Tasques associades a la tercera fase:

- Instal·lació de tots els programes al PC d'usuari. és on s'instal·laran tots els programes necessaris per programar els diferents elements i també farà de PC de monitorització i supervisió per a l'SCADA.
- Programació del PLC i configuració del Variador. Aquí es farà el programa de comandament i funcionament de l'emplenat / buidat dels dipòsit i del variador
- Programació del HMI. Aquí es farà la programació de la pantalla d'operador i proves de simulació amb la mateixa.
- Programació de L'SCADA. Aquí es farà la programació de la l'SCADA i proves de simulació amb el mateix.

Quarta fase : Posada en Marxa

Tasques associades a la quarta fase:

- Es verifica el correcte funcionament, fent servir els diferents programes.

## CAPÍTOL 3. IMPLEMENTACIÓ DE LA MAQUETA

### 3.1 Planificació

Per tal d'implementar la maqueta s'ha de fer una planificació de l'execució del disseny segons les especificacions donades al capítol anterior.

La planificació té en compte totes les fases d'execució del disseny de l'estació, encara que com ja s'ha comentat, en aquest projecte no es farà el muntatge.

Per fer la planificació s'ha utilitzat el programa GanttProject.



**Fig. 3.1** Planificació de les tasques de l'estació de regulació de nivell i cabal

### 3.2 Pressupost

Al pressupost s'inclouen tots els apartats per tal de reflectir els costos de recursos econòmics i humans de la maqueta, encara que els costos de mà d'obra s'assumiran amb els recursos humans del centre amb l'objectiu de reduir costos per un costat i aprofitar l'aprenentatge dels alumnes en les competències de d'interpretació de plànols, especificacions tècniques, muntatge mecànic i elèctric, comprovació, verificació i posada en marxa, ajust de sistemes, localització d'avaries, aplicació de normativa, conceptes de seguretat, treball autònom i en grup, Resolució de problemes durant el procés, etc.

S'ha de tenir en compte que les hores de mà d'obra són orientatives segons el mercat, però està clar que els alumnes tindran temps diferents d'execució, ja que estan aprenent i dependrà de les seves habilitats.

Recordar que, encara que el pressupost inclou tots els conceptes, en aquest projecte no s'inclou el muntatge.

**Fig. 3.2** Pressupost de l'estació de regulació de nivell i cabal

**Fig. 3.2** Pressupost de l'estació de regulació de nivell i cabal

### 3.3 Programació de la maqueta

Per a poder fer servir la maqueta una de les parts importants és la seva programació. Aquesta programació serà la base per al plantejament de les pràctiques a realitzar.

A continuació es descriuen els passos del procediment a seguir.

En un primer pas s'han de configurar el PLC i les seves comunicacions bàsiques amb el variador, i la programació del variador. Tot això es descriu a l'apartat 3.3.1.

En un segon pas es configuraran la pantalla HMI i l'SCADA, que es descriu a l'apartat 3.3.1.

En un tercer pas es configurarà el control del PID de l'emplenament i buidat dels dipòsits. La seva descripció es troba a l'apartat 3.3.1.

En un quart pas es configuraran les comunicacions més avançades com el servidor web, i la supervisió des d'una xarxa externa. La seva descripció es troba a l'apartat 3.3.2.

#### 3.3.1 Configuració de la maqueta

El primer pas es configurar el PLC i les seves comunicacions bàsiques amb el variador, i la programació del variador. A continuació, es pot trobar la seva descripció.

##### *Configuració de la xarxa de la maqueta*

En la maqueta el PLC M340 es comunica amb la pantalla HMI a través de Ethernet sobre Modbus TCP/IP i amb el PC on hi és l'SCADA sobre Ethernet. El PLC, la pantalla i el PC estan connectats a un switch per a la comunicació Ethernet. El PLC i amb el variador estan comunicats pel bus CAN-Open.

La configuració de la IP del M-340 i la de la pantalla serà una IP fixa del rang 192.168.1.1 /24. El PLC serà 192.168.1.107 i la IP de la pantalla HMI serà 192.168.1.121 (veure annex III)

##### *Configuració del PLC*

Configuració dels diferents mòduls que componen el nostre autòmat: CPU, entrades digitals, sortides digitals, entrades/ sortides analògiques, etcètera. És important configurar al programa o projecte del PLC, tots els mòduls, en la posició corresponent en el rack i amb les seves característiques exactes,

perquè si no donarà problemes de comunicació quan carreguem el programa al PLC. També cal definir la IP del PLC que li hem assignat a la xarxa per a que es pugui comunicar o podem enviar el programa. Al PLC també li podem enviar el programa a través de connexió USB o amb targeta SD específica. (veure Annex I)

### *Configuració del variador*

Configurar les comunicacions pel bus CANopen. És a dir node i element del variador a la xarxa i amb els PDO, les variables necessàries a transmetre entre el PLC i el variador, com per exemples les rampes d'acceleració i desceleració, consignes de velocitat, paraula de control i paraula d'estat. Programació de la seqüència de funcionament del variador. (veure Annex I)

A continuació es descriu el segon pas, que es la configuració de la pantalla HMI i la pantalla amb l'SCADA

### *Configuració de la pantalla HMI*

Configurar el PLC per poder exportar les variables del programa. Configurar la pantalla HMI: IP assignada dins de la xarxa i la connexió amb el PLC. Programar les diferents pantalles: Principal d'accés, control variador, sinòptic de funcionament, alarmes, tendències o gràfiques, etcètera . També es pot configurar accessos de seguretat típic (administrador, manteniment, operador) i l'idioma (veure annex III).

### *Configuració de l'SCADA*

Configurar el PLC per poder exportar les variables del programa. Configurar els diferents elements, dispositius, servidors i usuari administrador. Programar la pàgina principal amb el sinòptic gràfic que descriu el funcionament, control variador, alarmes, tendències o gràfiques, PID de Nivell i Cabal, etcètera . També es pot configurar accessos de seguretat típic (administrador, manteniment, operador) i l'idioma (veure Annex I).

A continuació es descriu el tercer pas, que es la configuració del PID.

### *Configuració del PID de regulació i control de l'emplenament i buidat dels dipòsits a través del control del variador.*

Programació al PLC del control de PID de Nivell i de Cabal. Aquest control és fa sobre la velocitat del variador. Com que els dos PID actuen sobre el variador només es pot tenir un dels dos actius.  
(veure Annex I)

### 3.3.2 Comunicacions de la maqueta

A continuació es descriu el quart pas del procediment on es configuraran les comunicacions, fent èmfasi en les més avançades com el servidor web, i la supervisió des d'una xarxa externa.

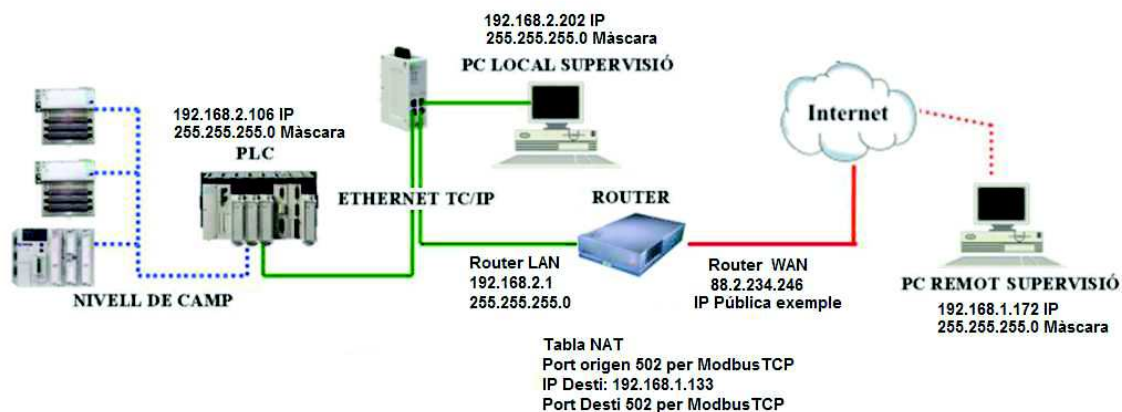
Per fer proves de les comunicacions de la maqueta. Hi ha dos protocols bàsic. el de camp, el CAN open i l'Ethernet , que inclou també l'Ethernet industrial amb el MODBUS TCP/IP.

Les comunicacions amb els CANopen es poden configurar i comprovar posant en línia el PLC amb el variador. Des d'aquesta opció es pot comprovar si s'envien les dades que hem programat per enviar amb el variador, i la pròpia comunicació del bus CANopen.

Les comunicacions amb els protocols d'Ethernet es poden monitoritzar, per exemple amb el programa Wireshark. (veure annex II). Com per exemple es pot comprovar la comunicació del MODBUS TCP/IP entre el PLC, PC i pantalla HMI i el seu port de comunicació típic 502.

Una de les comunicacions típiques que ja hem comentat, és la supervisió des del PC local que està dins la xarxa. Aquesta és fàcil del comprovar en fer les proves bàsiques de la pantalla de l'SCADA i el PLC en fer les proves de posada en marxa, ja que el PC està dins la mateixa xarxa que el PLC ( veure Annex II)

Una altra comunicació típica per a l'estudi és la que es pot establir entre un PC remot supervisió amb un SCADA que està situat a la xarxa externa al router amb el PLC que es troba a la xarxa interna al router. ( veure Annex III)



**Fig. 3.3** Esquema típic de comunicació amb l'exterior mitjançant un router



Altres comunicacions que permeten els PLC's són la comunicació amb servidor web del propi autòmat. El M-340 és un autòmat industrial de planta que ja ho portava incorporat fa anys per això el seu servidor té funcions més limitades als nous. Es pot comunicar amb ell visualitzar la configuració i canviar la clau d'administrador. ( veure Annex III)

Una altre possible configuració que es pot realitzar combinant pràctiques anteriors del router i el servidor web. La pràctica seria una ampliació. Caldria establir la comunicació entre un PC de la xarxa externa, connectat amb el router amb un PLC a la xarxa interna. Des de el PLC extern es pot sol·licitar accés de la pàgina web a través del router. Aquest redireccionarà l'entrada de sol·licitud del web al PLC. ( veure Annex III)

## CAPÍTOL 4. RESULTATS

Com a resultat del disseny i de la implementació de la maqueta es plantegen una sèrie d'activitats pràctiques relacionades amb l'estació per a desenvolupar a les classes.

### 4.1 Activitats pràctiques per a la configuració i programació

Al capítol 3, es descriu la implementació de la maqueta, i a l'apartat 3.3, la seva programació. Per tant, la configuració dels elements i les comunicacions de la mateixa.

Així es plantegen les següents activitats pràctiques de configuració de la maqueta de regulació Nivell i Cabal amb diferents apartats. A continuació, l'índex de les mateixes:

- Activitat 1.Reconeixement i estudi dels elements
- Activitat 2.Descripció del funcionament
- Activitat 3.Comprovació del mapa d'entrades i sortides de l'autòmat
- Activitat 4.Parametrització del variador de freqüència ATV61
- Activitat 5.Configuració i programació de l'autòmat
- Activitat 6.Configuració i programació de la pantalla d'operador
- Activitat 7.Configuració i programació del sistema SCADA
- Activitat 8.Comprovació i posada en marxa

Aquestes activitats es poden trobar a l'annex I.

L'activitat 1, Reconeixement i estudi dels elements , té com a objectius identificar els diferents elements de l'estació i descriure la seva funció. És a dir, observar l'estació de regulació de cabal i nivell, i identificar tots els elements que inclou la maqueta i la seva funció. La seva temporització aproximada és de 6 h.

L'activitat 2, Reconeixement i estudi dels elements , té com a objectius estudiar el funcionament de la maqueta de regulació de cabal i nivell i redactar un document amb la descripció de les seves funcions i del seu funcionament. És a dir, s'ha de descriure la funció general de l'estació i el seu funcionament. I a la descripció s'han de nomenar els principals sensors, actuadors, controladors i sistemes de supervisió i control que fa servir l'estació. La seva temporització aproximada de 6 h.

L'activitat 3, Comprovació del mapa de d'entrades i sortides de l'autòmat, té com a objectius documentar el mapa d'entrades i sortides de l'autòmat i

comprovar la correcta connexió dels sensors i actuadors, tant digitals com analògics. La seva temporització aproximada és de 16 h.

L'activitat 4, Parametrització del variador de freqüència ATV61, té com a objectiu configurar el variador de freqüència ATV61 parametritzant-lo utilitzant la pantalla d'operador que inclou i/o amb el software somove lite. La seva temporització aproximada és de 16 h.

L'activitat 5, Programació de l'autòmat , té com a objectiu programar l'autòmat programable M340 amb el programa Unity Pro XL. Per tal d'aconseguir-ho, s'ha de crear un programa per controlar el nivell i el cabal del dipòsit superior de l'estació amb la configuració del maquinari del PLC instal·lat a l'estació. També, s'han de configurar les comunicacions Ethernet i CANopen, ajustar els paràmetres del control PID i crear el programa de funcionament del variador. La seva temporització aproximada és de 36 h.

L'activitat 6, Programació de la pantalla d'operador, té com a objectiu programar la pantalla S5T amb Vijeo Designer per controlar el nivell i el cabal del dipòsit superior de l'estació. Per tal d'aconseguir-ho s'ha de crear un programa amb Vijeo Designer amb la configuració del maquinari de l'autòmat M340 i la creació de variables per a la gestió de les pantalles de sinòptic, gràfiques, alarmes, seguretat, idiomes, etcètera. La seva temporització aproximada és de 36 h.

L'activitat 7, Programació del sistema SCADA, té com a objectius programar l'SCADA amb Vijeo Citect per controlar el nivell i el cabal del dipòsit superior de l'estació. Per tal d'aconseguir-ho s'ha de crear un programa amb Vijeo Citect amb la configuració del maquinari de l'autòmat M340 i la creació de variables per a la gestió de les pantalles de sinòptic, gràfiques, alarmes, seguretat, idiomes, etcètera. La seva temporització aproximada és de 36 h.

L'activitat 8, Comprovació i posada en Marxa, té com a objectius fer les comprovacions necessàries per posar en marxa la maqueta. Per això caldrà fer un llistat de les comprovacions a fer i utilitzar les eines disponibles com el PLC, la pantalla HMI o l'SCADA . La seva temporització aproximada és de 6 h.

## 4.2 Activitats pràctiques de comunicacions

Aquestes activitats fan referència a les explicacions de capítols anteriors. Tals com, les del capítol 2, on es descriu el disseny de la maqueta i les de l'apartat 2.1, on es descriuen els fonaments control i xarxes industrials: Protocols/tecnologies: ModbusTCP/IP, CANopen i OPC. I , a l'apartat 3.3.2, on es descriuen les comunicacions de la maqueta.

La proposta de les pràctiques té en compte les següents consideracions:

- El protocol Modbus TCP/IP és present al PLC M-340 per a comunicar-se amb ell i la pantalla HMI. El protocol CANopen també hi és per a la comunicació amb el variador, però la tecnologia OPC no cal fer-la servir

en aquest autòmat per comunicar-se amb la pantalla o l'SCADA, perquè hi ha comunicació directa.

- Per provar la tecnologia OPC es planteja una activitat amb el PLC M-241 de la mateixa marca, que si necessita fer-la servir per a comunicar-se amb l'SCADA.
- Per a la simulació de comunicacions de xarxes industrials fents servir routers, xarxes Internet i externes a l'empresa, i servidors web per als dos autòmats, es proposen activitats de per tal de comprovar el funcionament.

Al següents apartats, 4.2.1 i 4.2.2, es descriuen les activitats pràctiques de comunicacions amb diferents apartats relacionades amb l'autòmat M-340 i el M-241.

Les activitats que es descriuen a l'apartat 4.2.1 es poden trobar a l'annex II, i les de l'apartat 4.2.2, a l'annex III.

A l'estació de nivell i cabal, que la maqueta que s'ha dissenyat, només es podran provar les relacionades amb el PLC M-340. Les altres es poden provar a part de moment i més tard es pot ampliar l'estació per a fer aquestes i altres activitats.

#### **4.2.1 Activitats pràctiques de comunicacions amb el PLC M-340**

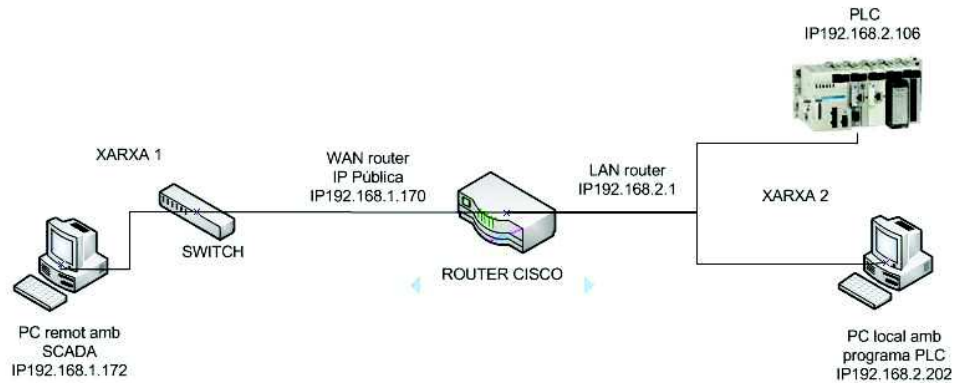
A continuació, l'índex de les activitats:

- Activitat 1: Reconeixement i estudi del protocol MODBUS TCP/IP
  - Activitat1.a Comunicació HMI ModbusTCP amb pantalla HMI
  - Activitat1.b Comunicació HMI ModbusTCP amb pantalla simulada
- Activitat 2: Comunicació PC remot supervisió : SCADA extern a router i de router a xarxa interna
- Activitat 3: Comunicació amb servidor web de l'autòmat M-340
- Activitat 4: Ampliació. Comunicació web a través del router de l'activitat 2
- Activitat 5: Ampliació. Comunicació CANopen per reforçar la pràctica 4 de configuració: Parametrització del variador de freqüència ATV61

L'activitat 1, Reconeixement i estudi del protocol Modbus, té com a objectiu observar el funcionament del protocol a través de la comunicació entre l'autòmat i la pantalla, i els ports típics de comunicació ( el Modbus és el 502). Es pot observar el protocol amb les captures de Wireshark. La seva temporització aproximada és de 12h.

L'activitat 2, Comunicació PC remot supervisió : SCADA extern a router i de router a xarxa interna, té com a objectius la configuració de les xarxes de

comunicacions internes i externes, configuració del router i dels diferents elements de la xarxa, configuració IP pública. També la configuració del PC remot amb l'SCADA, el port 502 de Modbus per a la comunicació amb PLC, i un programa bàsic de posada en marxa d'un motor per fer proves de funcionament. La seva temporització aproximada és de 20h.



**Fig. 4.1** Comunicació PC remot de supervisió de l'activitat 2.

L'activitat 3, Comunicació amb servidor web de l'autòmat M-340, té com a objectius la supervisió de les dades entrada/sortida, característiques i seguretat d'accés al servidor web. La seva temporització aproximada és de 8 h.

L'activitat 4, Ampliació. Comunicació web a través del router de l'activitat 2, té com a objectius accés al servidor web a través del router de l'activitat 2, reconfigurant el router per al port web 80. La seva temporització aproximada és de 4 h ( si ha està muntada la pràctica 2).

L'activitat 5, Ampliació. Comunicació CANopen per reforçar la pràctica 4 de configuració: Parametrització del variador de freqüència ATV61 , té com a objectiu observar el funcionament del protocol a través de la comunicació entre l'autòmat i el variador. Es pot observar el protocol amb els les variables del variador que hi ha al PDO i al IODDT que és un objecte d'entrades/sortides. La seva temporització aproximada és de 10 h.

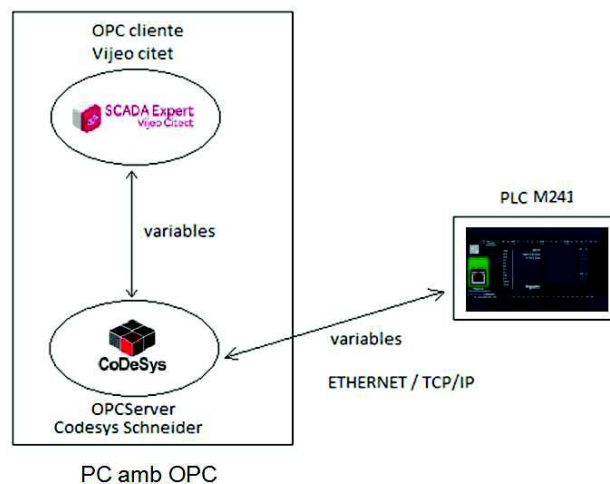
#### 4.2.2 Activitats pràctiques de comunicacions amb el PLC M-241

A continuació, l'índex de les activitats:

- Activitat 1: Comunicació OPCserver (Schneider) amb PLC M-241
- Activitat 2: Comunicació amb servidor web de l'autòmat M-241
  - Activitat 2.1: Part1: Configuració del PLC per a poder publicar les variables a la web
  - Activitat 2.2: Part2: Configuració de la Visualització per web d'una pantalla de visualització del programa

- Activitat 3: Ampliació Activitat 2.1. Comunicació web a través del router de l'activitat 2 del M-340 amb el M-241
- Activitat 4: Ampliació. Activitat 2.2. Comunicació web a través del router de l'activitat 2 del M-340 amb el M-241

L'activitat 1, Comunicació OPCserver (Schneider) amb PLC M-241, té com a objectius fer servir la tecnologia OPC. Per tal d'això es farà servir l'OPC del fabricant, s'establirà la comunicació fent els dos enllaços, el del OPCserver amb PLC M241 i OPCserver amb l'SCADA que és el client OPC, configurar dispositiu extern OPCserver (CoDeSys.DA). Fer un programa exemple al PLC M-241 programat amb Somachine una programa diferent al del M-340 i la programació de l'SCADA per poder fer proves de funcionament entre el PLC i l'SCADA. La seva temporització aproximada és de 36 h. Com que la programació de l'autòmat es fa amb un altre programa, potser caldran més hores per conèixer la programació bàsica en aquest entorn.



**Fig. 4.2** Esquema de configuració del OPCserver amb PLC.

L'activitat 2, Comunicació amb servidor web de l'autòmat M-241, té com a objectius la supervisió de les dades entrada/sortida, característiques i seguretat d'accés de l'autòmat M-241.

- l'activitat 2.1 part1, Configuració del PLC per a poder publicar les variables a la web, té com objectiu la supervisió de les dades d'entrades/sortides de l'autòmat, seguretat i accés al servidor web a través de la publicació de les variables. La seva temporització aproximada és de 8 h.
- l'activitat 2.2 part2, Configuració de la Visualització per web d'una pantalla de visualització del programa, té com objectiu la supervisió de les dades d'entrades/sortides de l'autòmat, seguretat i accés al servidor web a través de la publicació d'una pantalla de visualització del programa. Per tal de realitzar-lo s'ha de programar una pantalla a

l'autòmat i publicar-la com a pàgina web al servidor. Per fer proves es pot fer servir qualsevol ordinador o inclús un mòbil on es posa l'adreça de la pàgina publicada. La seva temporització aproximada és de 10 h.

L'activitat 3, Ampliació Activitat 2.1. Comunicació web a través del router de l'activitat 2 del M-340 amb el M-241, té com a objectius accés al servidor web a través del router de l'activitat 2 del M-340, reconfigurant el router per al port web 80. També, s'ha de reconfigurar per al nou PLC. La seva temporització aproximada és de 3 h (si ha està muntada la pràctica 2 del M-340, s'ha de modificar per al M-241).

L'activitat 4, Ampliació Activitat 2.2. Comunicació web a través del router de l'activitat 2 del M-340 amb el M-241, té com a objectius accés al servidor web a través del router de l'activitat 2 del M-340, reconfigurant el router per al port web 80. La seva temporització aproximada és de 1 h (si ha està muntada la pràctica 2 del M-340 i ja està modificada per al M-241).

## CAPÍTOL 5. CONCLUSIONS

Tal i com s'ha comentat durant la redacció del projecte, la maqueta cobreix les necessitats educatives d'un centre de formació professional, que ha d'impartir el CFGS de Automatització i Robòtica Industrial. La reducció del costos (no cal comprar els fabricants, que són cars), i el disseny de la maqueta amb tecnologia pròpia, permeten adquirir nous materials i fer pràctiques més enriquidores i variades cara als futurs professionals del sector.

El muntatge i la posada en marxa, proposada al projecte, la faran els alumnes, dirigits pels professors. També es comprarien els materials complementaris elèctrics, mecànics i hidràulics proposats al disseny. Per tal de saber els costos, s'ha fet un pressupost de material i de mà d'obra. Aquests últims, el centre, se'ls estalvia perquè, com ja he comentat, es faran amb recursos humans propis. I a més, té l'avantatge afegit de que els alumnes adquireixen competències tecnològiques i personals del currículum.

També es buscava una maqueta on es pogués treballar un model de planta industrial amb les tecnologies que demanda el mercat. En aquest sentit, s'ha vist que les tendències actuals, van encaminades a les tecnologies de la Indústria 4.0. D'aquesta manera, s'ha definit la maqueta de regulació i control de nivell i cabal amb control sobre un variador que controla el motor, com a exemple d'aplicació.

Per al disseny s'han tingut en compte les tecnologies i protocols de comunicacions disponibles als equips. També, la tendència que estigui tot connectat, i que les comunicacions siguin usualment per Ethernet i Ethernet industrial. Així, per a la comunicació entre els controladors i els dispositius a controlar, es farà servir un equip, el PLC de planta M-340; amb bus de comunicacions a nivell d'Ethernet industrial, el Modbus TCP per a la comunicació amb la pantalla HMI i com al bus de camp es farà servir CANopen, per a la comunicació amb el variador que controla la bomba. Per a la monitorització remota s'utilitza l'SCADA i el servidor web de l'autòmat.

S'han fet unes activitats pràctiques de configuració i programació de l'autòmat de la maqueta, el M-340, on es farà la configuració de la xarxa de la maqueta, la programació del PID, i del funcionament del variador. També, les activitats pràctiques de comunicacions que es poden fer amb aquest autòmat, que són les comprovacions amb el variador amb el CANopen, la pantalla HMI amb el Modbus TCP, la comunicació amb el PC remot amb SCADA i el servidor web. Aquestes activitats, s'han dissenyat perquè els alumnes puguin fer pràctiques amb la maqueta. Les activitats de configuració estan relacionades amb la part de la implementació del projecte i s'han fet perquè els alumnes puguin fer pràctiques d'aquest tipus també.



Una vegada, dissenyades les pràctiques, es veu amb la maqueta es poden fer les pràctiques bàsiques de configuracions i comunicacions. Però per comprovar el funcionament de l'OPC necessitem un altre PLC, el M-241, també de Schneider.

En l'anàlisi de les possibilitats d'aquest autòmat, es veu, que encara que es un PLC pensat per a peu de màquina, com es més nou, té un servidor web amb més possibilitats. Llavors es desenvolupen activitats específiques per aquest autòmat, com són les comunicacions amb OPC, i variacions de monitorització de les variables del sistema a la pàgina web del PLC. Aquest autòmat permet fer-ho de forma senzilla, només amb les variables. Però també, té la possibilitat de crear una pàgina de visualització que publicant-la a la web, un usuari amb accés restringit es pugui connectar i controlar la maqueta. Es complementa amb activitats d'ampliació de comunicació a través d'un PC de supervisió, com ja s'havia fet amb l'autòmat M-340. Per tant, finalment, es proposen ampliacions de la maqueta de regulació i control per poder fer aquestes noves pràctiques.

A continuació s'exposen les futures línies d'ampliació de la maqueta.

## **Futures ampliacions**

Després de veure les els protocols i les tecnologies que es poden aplicar a la maqueta, i de les activitats pràctiques proposades, es pot veure que a la maqueta no es poden fer totes les pràctiques i que calen futures ampliacions.

També hem comentat que un dels objectius es fer petites modificacions a l'entorn de la maqueta de regulació de nivell i cabal per poder variar l'entorn de treball i poder ampliar les pràctiques i models d'estudi d'una planta industrial.

Es proposen les següents configuracions:

- Estació 1: Estació regulació i control nivell i cabal amb el PLC a nivell de planta M-340:
  - Aquesta es l'estació base que s'ha dissenyat al projecte
- Estació 2 : Estació regulació i control nivell i cabal amb el PLC a nivell màquina M-241.
  - A partir de l'Estació 1: regulació i control de nivell i cabal amb el PLC M340, canviarem el PLC per el M241, que es un PLC a nivell de màquina, més nou que el M340 i amb algunes prestacions més per a la web. Aquest PLC es programa amb un software diferent del fabricant Schneider, el Somachine. Aquest software té com a base de programació l'estàndard Codesys però amb entorn adaptat al fabricant. Aquest estàndard ja comença a fer servir per diferents fabricants com per exemple Siemens amb el seu software: TIA PORTAL. A més a més
    - Pràctiques OPCserver: OPC, programa (driver) que permet als programes de Windows comunicar-se amb els

dispositius de maquinari industrials. També software del mateix o diferents fabricant que no té comunicació directa per exemple és el cas de L'SCADA com a OPCclient (veure annex III)

- Pràctiques Servidor web: Configuració del PLC per a poder publicar les variables a la web, Configuració de la Visualització per web d'una pantalla de visualització del programa . Ampliació a través del router (veure annex III)
- Estació 3: control neumàtic 3 cilindres amb M-340
  - A partir de l'estació regulació i control de nivell i cabal amb el PLC M340, es pot ampliar amb un annex una maqueta de cilindres neumàtics amb el que es podrien simular seqüències electroneumàtiques de processos industrials típics dels elements neumàtics.
    - Es podem fer les pràctiques amb pràctiques de programació amb l'autòmat, la pantalla HMI, SCADA, etc.
- Estació 4: control neumàtic 3 cilindres amb M241.
  - A partir de l'estació 4: control neumàtic 3 cilindres amb el PLC M340, canviarem el PLC per el M241.
    - Es poden fer les pràctiques de del OPCserver, router, etc (veure annex III)

Per tal de que sigui més fàcil i ràpid els intercanvis entres els PLC 's a la maqueta, s'ha de d'establir un connector estàndard per a les nostres maquetes. Podria ser un DB25 ( 25 pins), o un DB50 ( 50 pins). Això ho hem de decidir en funció de les entrades/ sortides disponibles del PLC's. Normalment amb 25 pins ni ha prou. Per tant es faria servir el DB25.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Observatori de l'FP., "Els sectors econòmics emergents i la formació professional a la RMB. Sector Indústria 4.0", 1-98 ( 2017).
- [2] Grup de treball TSN (Time-Sensitive Networking) del grup 802.1 del IEEE. <http://www.ieee802.org/1/pages/tsn.html> ( 2017).
- [3] Comunicaciones Modbus. Manual de formació. Disponible online: <http://www.schneider-electric.es/es/> ( accés en juny 2016)
- [4] Grup de treball Modbus. Disponible online: <http://www.modbus.org/> (accés en 2017).
- [5] Grup CiA CAN per automatització. Disponible online: <https://www.can-cia.org/> (accés en 2017).
- [6] CANopen EN 50325-4 Industrial automation systems and integration. Disponible online: <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0046018#.WKuFTPnhBdg> (accés en 2017).
- [7] CANopen ISO 15745-2 Industrial automation systems and integration -- Open systems application integration framework -- Part 2: Reference description for ISO 11898-based control systems. Disponible online: [http://www.iso.org/iso/iso\\_catalogue/catalogue\\_tc/catalogue\\_detail.htm?csnumber=32973](http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=32973) (accés en 2017).
- [8] Can bus (ISO11898-1:2003). Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 1: Data link layer and physical signalling. Disponible online: [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=33422](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=33422) (accés en 2017).
- [9] Can bus (ISO11898-1:2015). Road vehicles -- Controller area network (CAN) -- Part 1: Data link layer and physical signalling. Revision. Disponible online: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_ics/catalogue\\_detail\\_ics.htm?csnumber=63648](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=63648) (accés en 2017).
- [10] Manual comunicaciones CANopen. Manual de formació <http://www.schneider-electric.es/es/> ( juny 2016)
- [11] Grup de treball OPC. Disponible online: <https://opcfoundation.org/> (accés en 2017).
- [12] Grup de treball PLCOPEN. Disponible online: <http://www.plcopen.org/> (accés en 2017).

- [13] Servidor OPC. Disponible online: <http://matrikonopc.es/opc-servidor/> (acceso en 2017).
- [14] Regulación PID: qué es y cómo se ajusta. Andrés Salgado. Disponible online: <http://campusabierto.es/enlinea/> (acceso en 2017).
- [15] Acciones de control. Disponible online:  
[http://web.udl.es/usuaris/w3511782/Control\\_de\\_procesos/Unidades\\_files/Cap06\\_10-11.pdf](http://web.udl.es/usuaris/w3511782/Control_de_procesos/Unidades_files/Cap06_10-11.pdf) (acceso en 2017).

# **ANNEXOS**

**Annex I. Enunciats de les pràctiques i solucions de la configuració de la maqueta industrial de regulació i control.**

**Annex II. Enunciats de les pràctiques i solucions de les comunicacions Part1.M-340**

**Annex III. Enunciats de les pràctiques i solucions de les comunicacions Part2.M-241**





# ÍNDEX

## ANNEX I. ENUNCIATS DE LES PRÀCTIQUES I SOLUCIONS DE LA CONFIGURACIÓ DE LA MAQUETA INDUSTRIAL DE REGULACIÓ I CONTROL..... 5

1.1. Activitat 1.Reconeixement i estudi dels elementsError! No s'ha definit l'adreça d'interès.

1.2. Activitat 2.Descripció del funcionament ..... Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.

1.3. Activitat 3.Comprovació del mapa d'entrades i sortides de l'autòmatError! No s'ha definit l'adreça d'interès.

1.4. Activitat 4.Parametrització del variador de freqüència ATV61Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.

1.5. Activitat 5.Configuració i programació de l'autòmatError! No s'ha definit l'adreça d'interès.

1.6. Activitat 6.Configuració i programació de la pantalla d'operadorError! No s'ha definit l'adreça d'interès.

1.7. Activitat 7.Configuració i programació del sistema SCADAError! No s'ha definit l'adreça d'interès.

1.8. Activitat 8.Comprovació i posada en marxa..... Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.

## ANNEX 2. ENUNCIATS DE LES PRÀCTIQUES I SOLUCIONS DE LES COMUNICACIONS PART1.M-340 ..... 6

2.1. Activitat 1: Reconeixement i estudi del protocol MODBUS TCP/IPError! No s'ha definit l'adreça d'interès.

2.1.1 Activitat1.a Comunicació HMI ModbusTCP amb pantalla HMIEError! No s'ha definit l'adreça d'interès.

2.1.2 Activitat1.b Comunicació HMI ModbusTCP amb pantalla simuladaError! No s'ha definit l'adreça d'interès.

2.2. Activitat 2: Comunicació PC remot supervisió : SCADA extern a router i de router a xarxa interna ..... Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.

2.3. Activitat 3: Comunicació amb servidor web de l'autòmat M-340Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.

2.4. Activitat 4: Ampliació. Comunicació web a través del router de l'activitat 2Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.

2.5. Activitat 5: Ampliació. Comunicació CANopen per reforçar la pràctica 4 de configuració: Parametrització del variador de freqüència ATV61Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.

## ANNEX III. ENUNCIATS DE LES PRÀCTIQUES I SOLUCIONS DE LES COMUNICACIONS PART2.M-241 ..... 7

3.1 Activitat 1: Comunicació OPCserver (Schneider) amb PLC M-241Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.



**3.2 Activitat 2: Comunicació amb servidor web de l'autòmat M-241**Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.

3.2.1 Activitat 2.1: Part1: Configuració del PLC per a poder publicar les variables a la web **Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.**

3.2.2 Activitat 2.2: Part2: Configuració de la Visualització per web d'una pantalla de visualització del programa .....**Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.**

**3.3 Activitat 3: Ampliació Activitat 2.1. Comunicació web a través del router de l'activitat 2 del M-340 amb el M-241** ..... Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.

**3.4 Activitat 4: Ampliació. Activitat 2.2. Comunicació web a través del router de l'activitat 2 del M-340 amb el M-241** ..... Error! No s'ha definit l'adreça d'interès.

## **Annex I. Enunciats de les pràctiques i solucions de la configuració de la maqueta industrial de regulació i control**

Al capítol 3, es descriu la implementació de la maqueta, i a l'apartat 3.3, la seva programació. Per tant, la configuració dels elements i les comunicacions de la mateixa.

Així, es plantegen les següents activitats pràctiques de configuració de la maqueta de regulació Nivell i Cabal amb diferents apartats. A continuació, l'índex de les mateixes:

- Activitat 1.Reconeixement i estudi dels elements
- Activitat 2.Descripció del funcionament
- Activitat 3.Comprovació del mapa d'entrades i sortides de l'autòmat
- Activitat 4.Parametrització del variador de freqüència ATV61
- Activitat 5.Configuració i programació de l'autòmat
- Activitat 6.Configuració i programació de la pantalla d'operador
- Activitat 7.Configuració i programació del sistema SCADA
- Activitat 8.Comprovació i posada en marxa

A l'apartat 4.1, del capítol 4 es dona una breu explicació, amb objectius i temporització d'aquestes pràctiques.

## **Annex 2. Enunciats de les pràctiques i solucions de les comunicacions Part1.M-340**

Aquestes activitats fan referència a les explicacions de capítols anteriors. Tals com, les del capítol 2, on es descriu el disseny de la maqueta i les de l'apartat 2.1, on es descriuen els fonaments control i xarxes industrials: Protocols/tecnologies: ModbusTCP/IP, CANopen i OPC. I, a l'apartat 3.3.2, on es descriuen les comunicacions de la maqueta.

La proposta de les pràctiques té en compte les següents consideracions:

- El protocol Modbus TCP/IP és present al PLC M-340 per a comunicar-se amb ell i la pantalla HMI. El protocol CANopen també hi és per a la comunicació amb el variador, però la tecnologia OPC no cal fer-la servir en aquest autòmat per comunicar-se amb la pantalla o l'SCADA, perquè hi ha comunicació directa.
- Per a la simulació de comunicacions de xarxes industrials fent servir routers, xarxes Internet i externes a l'empresa, i servidors web per als dos autòmats, es proposen activitats de per tal de comprovar el funcionament.

Al l'apartat 4.2.1 del capítol 4 es descriuen les activitats pràctiques de comunicacions amb diferents apartats relacionades amb l'autòmat M-340. També es dona una breu explicació, amb objectius i temporització d'aquestes pràctiques.

A continuació, l'índex de les activitats:

- Activitat 1: Reconeixement i estudi del protocol MODBUS TCP/IP
  - Activitat1.a Comunicació HMI ModbusTCP amb pantalla HMI
  - Activitat1.b Comunicació HMI ModbusTCP amb pantalla simulada
- Activitat 2: Comunicació PC remot supervisió : SCADA extern a router i de router a xarxa interna
- Activitat 3: Comunicació amb servidor web de l'autòmat M-340
- Activitat 4: Ampliació. Comunicació web a través del router de l'activitat 2
- Activitat 5: Ampliació. Comunicació CANopen per reforçar la pràctica 4 de configuració: Parametrització del variador de freqüència ATV61

## **Annex III. Enunciats de les pràctiques i solucions de les comunicacions Part2.M-241**

Aquestes activitats fan referència a les explicacions de capítols anteriors. Tals com, les del capítol 2, on es descriu el disseny de la maqueta i les de l'apartat 2.1, on es descriuen els fonaments control i xarxes industrials: Protocols/tecnologies: ModbusTCP/IP, CANopen i OPC. I, a l'apartat 3.3.2, on es descriuen les comunicacions de la maqueta.

La proposta de les pràctiques té en compte les següents consideracions:

- Per provar la tecnologia OPC es planteja una activitat amb el PLC M-241 de la mateixa marca, que si necessita fer-la servir per a comunicar-se amb l'SCADA.
- Per a la simulació de comunicacions de xarxes industrials fent servir routers, xarxes Internet i externes a l'empresa, i servidors web per als dos autòmats, es proposen activitats de per tal de comprovar el funcionament.

Al l'apartat 4.2.2 del capítol 4 es descriuen les activitats pràctiques de comunicacions amb diferents apartats relacionades amb l'autòmat M-241. També es dona una breu explicació, amb objectius i temporització d'aquestes pràctiques.

A continuació, l'índex de les activitats:

- Activitat 1: Comunicació OPCserver (Schneider) amb PLC M-241
- Activitat 2: Comunicació amb servidor web de l'autòmat M-241
  - Activitat 2.1: Part1: Configuració del PLC per a poder publicar les variables a la web
  - Activitat 2.2: Part2: Configuració de la Visualització per web d'una pantalla de visualització del programa
- Activitat 3: Ampliació Activitat 2.1. Comunicació web a través del router de l'activitat 2 del M-340 amb el M-241
- Activitat 4: Ampliació. Activitat 2.2. Comunicació web a través del router de l'activitat 2 del M-340 amb el M-241